

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО СВЯЗИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ
им. проф. М. А. БОНЧ-БРУЕВИЧА»

Кафедра информационных управляющих систем

Н.Н. Мошак

**Конвергенция информационных и телекоммуникационных
технологий**

Конспект лекций

для специальности 230201 – Информационные системы и технологии



Санкт-Петербург, 2017

Оглавление

Введение.....	4
Вопросы для самопроверки.....	7
1. Тема 1. Концепция построения инфокоммуникационной сети.....	8
1.1.Предпосылки конвергенции современных информационных и телекоммуникационных технологий на базе инфокоммуникационной сети.....	8
1.2.Инфокоммуникационная сеть и ее компоненты.....	35
1.3.Интеграция информационного сервиса пользователей. Общая характеристика и особенности инфоуслуг.....	38
1.4.Характеристики базовых потоков информации в ИКС.....	42
1.5.Мультисервисная сеть связи как область взаимодействия ИКС.....	51
1.6.Функционально-структурная организация инфотелекоммуникационных транспортных систем на технологиях ATM и IP-QoS.....	55
1.7.Классификация инфотелекоммуникационных транспортных систем МСС по способу закрепления физических ресурсов сети за соединением.....	65
1.8.Особенности передачи речевых сигналов в пакетных ИТС. Обеспечение QoS-норм в пакетной и гибридной транспортной системе.....	67
Вопросы для самопроверки.....	68
2. Тема 2. Методология моделирования и анализа процессов функционирования ИТС.....	69
2.1.Обоснование показателей качества обслуживания мультимедийного трафика в МСС.....	69
2.2.Обоснование критерия эффективности.....	72
2.3.Концептуальная модель МСС.....	73
2.4.Принцип целостности МСС.....	76
2.5.Принцип уровневой иерархии МСС.....	95
2.6.Принцип единственности МСС как основа задачи ее анализа.....	110
Вопросы для самопроверки.....	111
3. Тема 3. Аналитические модели процессов функционирования ИТС.....	113
3.1.Аналитические модели процессов функционирования неоднородной инфотелекоммуникационной транспортной IP-QoS-системы.....	113
3.2.Аналитические модели функционирования ИТС-ATM.....	123
Вопросы для самопроверки.....	138

4. Тема 4. Методы и алгоритмы анализа ИТС	139
4.1. Анализ неоднородных ИТС-IP-QoS.....	141
4.2. Анализ однородных инфотелекоммуникационных транспортных АТМ-систем.....	146
Вопросы для самопроверки.....	158
5. Инженерные методики и алгоритмы оценки эффективности ИТС	160
5.1. Инженерная методика и алгоритм синтеза неоднородной ИТС-IP- QoS.....	161
5.2. Инженерные методики и алгоритмы синтеза однородных пакетных и гибридных ИТС-АТМ-SIP.....	165
Вопросы для самопроверки.....	169
Литература.....	170

Введение

В течение многих лет информационные и телекоммуникационные технологии развивались как два различных мира. Тем не менее, в последнее время термин «конвергенция» всё чаще и чаще появляется в контексте эволюции в информатике и телекоммуникациях.

Информационная технология (ИТ) - это совокупность приемов, методов и средств сбора, ввода, хранения, обработки, передачи и выдачи информации потребителю с использованием средств компьютерной техники и средств коммуникаций. В современном обществе информационные технологии формируют новую материальную основу общества – экономику, построенную на знании. Индустрия ИТ производит *информационный продукт* (ИП) в форме различного рода информации и является источником человеческих знаний.

Конвергенция, в самом общем случае, определяется как эволюционное понятие, означающее сближение признаков объектов изначально разного происхождения в результате функционирования в сходных условиях, т. е. конвергенция — это процесс сближения сущностей посредством взаимопроникновения. В этом смысле конвергенцию можно определить как высшую ступень интеграции. Процесс конвергенции стал возможным в результате, с одной стороны, технологического прогресса и, с другой стороны, новых требований, предъявляемых потребителями услуг. Можно говорить о нескольких аспектах конвергенции: конвергенции услуг, конвергенции оборудования и конвергенции сетей. Конвергенция услуг обеспечивает пользователям новые расширенные функциональные возможности. Конвергенция оборудования позволяет, например, объединить в единое устройство телефон, персональный компьютер и телевизионный приемник. Это устройство носит название «универсальный информационный терминал абонента». Конвергенция сетей означает сближение или объединение различных сетевых технологий для создания возможностей предоставить пользователям разнородные услуги.

Современный этап развития мировой цивилизации характеризуется переходом от индустриального к информационному обществу. Информационное общество - общество, в котором большинство работающих занято производством, хранением, переработкой и реализацией информации, особенно высшей ее формы — знаний.

В современном обществе создаются и предлагаются потребителям не только информационные продукты, но и информационные услуги, связанные с предоставлением возможности и средств доступа к информации (средств ее поиска, обработки, модификации и т.д.), получением и предоставлением в распоряжение или использование различных информационных продуктов. Появление информационных услуг расширило спрос на информационные продукты, так как способствовало индивидуализации предложения информации — его

приближению к индивидуальным потребностям и нуждам отдельных пользователей, а также сближению информационных моделей производителей и пользователей информации. Перечень услуг определяется объемом, качеством, предметной ориентацией по направлениям получения и сферам использования информационных ресурсов и создаваемых на их основе новых информационных продуктов. Таким образом, расширение сферы информационных услуг способствует росту и модификации информационных продуктов, а новые продукты, в свою очередь, расширяют ассортимент информационных услуг. В ряде случаев грань между информационным продуктом и услугой в значительной мере условна, например когда в качестве продукта выступает некий вполне определенный комплекс (портфель) определенных информационных услуг. Сегодня информация стала важнейшим, ценнейшим и дорогостоящим элементом стремительно развивающегося рынка информационных продуктов и услуг.

Конвергенция телекоммуникационных и информационных услуг ведет к возникновению единой инфокоммуникационной технологии — Information & Communication Technology (1ST). Перспективы дальнейшего углубления конвергенции в инфокоммуникациях многие исследователи связывают с созданием Глобальной информационной инфраструктуры (ГИИ) - (Global Information Infrastructure, GIИ) [1]. Сектор стандартизации ИТУ-Т в рекомендациях серии Y определяет Глобальную информационную инфраструктуру как «совокупность сетей, оборудования конечных пользователей, информации и людских ресурсов, которая может быть использована для доступа к полезной информации, связи пользователей друг с другом, работы, получения развлечений в любое время и из любого места по доступной цене». Таким образом, ГИИ является, по сути, технологической основой информационного общества, предоставляющей пользователям необходимые информационные ресурсы и услуги в любое время и из любого места.

Услуги ГИИ в рекомендациях Международного союза электросвязи ИТУ-Т определяются как инфокоммуникационные услуги или инфоуслуги - информационные услуги с комплексным предоставлением информации. *Инфокоммуникационной услугой* называется услуга электросвязи, предполагающая *автоматизированную обработку, хранение или предоставление информации по запросу* с использованием средств вычислительной техники, как на входящем, так и на исходящем конце соединения [1]. К инфокоммуникационным услугам предъявляются требования [2]:

- мобильности;
- возможности гибкого и быстрого создания новых услуг;
- гарантии качества.

Наблюдаемые в настоящее время высокие темпы роста объемов предоставления инфокоммуникационных услуг позволяют

прогнозировать их преобладание на сетях связи в ближайшем будущем. Это диктуется, с одной стороны, потребностью повседневной жизни людей, а с другой – массовым использованием средств вычислительной техники и новых информационных технологий в структуре хозяйственного, финансового и экономического управления, развитием всемирной электронной коммерции и бизнеса. Таким образом, особенность рассматриваемого этапа развития электросвязи заключается в том, что *для конечного пользователя создается база для инфоуслуг и/или приложений*, которые охватывают все виды жизнедеятельности человека (быт, работу, развлечения, медицину, образование торговлю и т. д.). Современная бизнес-модель, определяющая участников процесса предоставления инфоуслуг и их взаимоотношения, включает в себя, в дополнение к модели традиционных услуг электросвязи, *поставщика инфоуслуг*, который в свою очередь является потребителем услуг переноса, предоставляемых оператором сети связи. На рынке могут также присутствовать дополнительные виды поставщиков услуг: поставщики информации (предоставляет информацию поставщику услуг для распространения), брокеры (предоставляет информацию о поставщиках услуг и их потенциальных абонентах, содействует пользователям при поиске поставщиков услуг, оказывающих требуемые им услуги), ретейлеры (выступает как посредник между пользователем и поставщиком услуг с целью адаптации услуги к индивидуальным требованиям пользователя) и так далее.

Услуги ГИИ будут предоставляться посредством дистанционного доступа, организуемого на основе *инфокоммуникационной сети (ИКС)* с архитектурой сетей следующего поколения NGN (Next Generation Networks), подчеркивая конвергенцию информационных и телекоммуникационных компонентов в формировании новых сетевых услуг на основе мультисервисной платформы.

Необходимость конвергенции информационных и коммуникационных технологий информационного общества предполагает также новый эволюционный этап интеграции в сетях электросвязи, целью которого является построение транспортного слоя ИКС NGN или мультисервисных сетей (МСС) NGN, к которым предъявляются дополнительные требования, связанные со спецификой организации и поддержания в сессии многопоточковых мультимедийных соединений (речь, видео, графика, данные) с заданным качеством обслуживания (Quality of Service, QoS) в процессе предоставления инфоуслуг.

Создание МСС NGN неизбежно ставит вопрос о новых моделях распределения и переноса трафика в сети как в теоретическом, так и в практическом плане.

Предлагаемый курс лекций посвящен основам теории анализа и синтеза транспортного слоя ИКС NGN или *области взаимодействия сетей* МСС NGN в терминах эталонной модели взаимодействия открытых систем (ЭМ ВОС) - инфотелекоммуникационных транспортных систем на технологиях ATM и IP-QoS, обеспечивающих услугу переноса в сессии мультимедиа с учетом заданных QoS-норм.

Вопросы для самопроверки

1. Сформулируйте определение информационного общества и приведите его характерные черты
2. Сформулируйте определение информационной технологии
3. Чем отличается информационная технология от информационной услуги
4. Что такое конвергенция. К чему ведет конвергенция телекоммуникационных, информационных и медийных услуг
5. Сформулируйте определение Глобальной информационной инфраструктуры, инфоуслуги и инфокоммуникационной сети (ИКС)
6. Что включает современная бизнес-модель, определяющая участников процесса предоставления инфоуслуг и их взаимоотношения
7. Укажите роль и задачи мультисервисной сети как транспортного слоя ИКС NGN
8. Сформулируйте основные цель и задачи лекционного курса

Тема 1. Концепция построения инфокоммуникационной сети



При работе с данным разделом Вам предстоит:

1) Изучить темы: Предпосылки конвергенции современных информационных и телекоммуникационных технологий на базе инфокоммуникационной сети (ИКС). Инфокоммуникационная сеть и ее компоненты. Интеграция информационного сервиса пользователей. Общая характеристика и особенности *инфоуслуг (пользовательских служб)*. *Модели архитектуры «клиент-сервер»*. Характеристики базовых потоков информации в ИКС. Мультисервисная сеть связи (МСС) как область взаимодействия ИКС. Классификация инфотелекоммуникационных транспортных систем (ИТС) МСС по способу закрепления физических ресурсов сети за соединением. Особенности передачи речевых сигналов в пакетных ИТС.

2) Ответить на вопросы теста № 1

1.1. Предпосылки конвергенции современных информационных и телекоммуникационных технологий на базе инфокоммуникационной сети

1.1.1. Эволюция и конвергенция информационных технологий

В истории развития цивилизации произошло несколько *информационных революций*, когда кардинальные изменения в сфере обработки информации привели к преобразованиям общественных отношений, приобретению человеческим обществом нового качества.

Первая революция связана с изобретением письменности, что привело к гигантскому качественному и количественному скачку в развитии общества. Появилась возможность передачи знаний от поколения к поколению.

Вторая (середина XVI века) вызвана изобретением книгопечатания, которое радикально изменило индустриальное общество, культуру, организацию деятельности.

Третья (конец XIX века) обусловлена изобретением электричества, благодаря которому появился телеграф, телефон, радио, позволяющие оперативно передавать и накапливать информацию в любом объеме.

Четвертая (70-е г.г. XX века) связана с изобретением микропроцессорной технологии и появлением персонального компьютера. На микропроцессорах и интегральных схемах создаются компьютеры, компьютерные сети, системы передачи данных.

В конце 60-х годов 20-го столетия резко интенсифицировались *информационные процессы*. Основными составляющими этих процессов были увеличение объема добываемой, обрабатываемой и передаваемой информации. Графическое представление количества публикаций, изобретений, программ для ЭВМ и других результатов интеллектуальной деятельности в зависимости от времени показывает скачкообразный (экспоненциальный) рост *на рубеже 50-70х годов*. Эта графическая интерпретация получила название "*информационного взрыва*".

Отмеченные обстоятельства стимулировали разработку и создание автоматизированных средств создания, обработки и передачи информации. Усилились и научные исследования по осмыслению роли и значения информации на перспективы развития общества. *В эти годы и была сформулирована концепция информационного общества*. Изобретение самого термина "информационное общество" приписывается Ю. Хаяши, профессору Токийского технологического института, который возглавил исследовательскую группу, созданную японским правительством для разработки перспектив развития экономики страны. В представленном отчёте, *информационное общество определялось как такое, где процесс компьютеризации даст людям доступ к надежным источникам информации, избавит их от рутинной работы, обеспечит высокий уровень автоматизации производства. При этом изменится и само производство - продукт его станет более «информационно емким», что означает увеличение доли инноваций, дизайна и маркетинга в его стоимости*. Японский вариант концепции информационного общества разрабатывался, прежде всего, для решения задач экономического развития Японии, что обусловило его ограниченный и прикладной характер, но концепция оказалась настолько плодотворной, что практическая её реализация потом была названа "японским экономическим чудом".

В те же годы анализ тенденций научно-технического прогресса и бурного развития новых технологий в США привёл к зарождению двух идеологий - *информационного общества и постиндустриализма*. Идея постиндустриального общества была выдвинута американским социологом Д.Беллом в его книге "Наступление постиндустриального общества. "Опыт социального прогноза", изданной в 1973 г., в которой он разделил историю человеческого общества на три стадии -- аграрную, индустриальную и постиндустриальную. Развивая идеи Белла, другой американский философ, Э.Тоффлер (книга "Третья волна", 1980 г.) рассматривает историю человеческой цивилизации в виде следующих друг за другом волн.

Первая волна -- "сельскохозяйственная цивилизация" и её символ "мотыга", сменяется "цивилизацией индустриальной", символом которой является конвейер, а на смену ей приходит третья волна -- "информационная цивилизация", символ которой -- компьютер.

Движущая сила первой волны - продукция сельского хозяйства и минеральные ресурсы, конвейер обеспечивает дешёвый труд и массовое производство, а движущая сила третьей волны - создание и эксплуатация знаний.

Сегодня производство информационного продукта, а не продукта материального, служит движущей силой развития общества. Информация приобрела статус товара и сравнялась по значимости для общества с другими материальными ресурсами. Преобладающим сектором экономики становится сектор создания средств информационных технологий, обработки информации и информационных услуг. Подтверждением могут служить объёмы валового оборота в различных секторах экономики. Так, мировой экспорт информационных услуг и интеллектуальной собственности равен объединённому экспорту продуктов питания и нефтепродуктов. Но более веским аргументом является включение в состав 30 акций, на основании которых рассчитывается биржевой индекс Доу Джонса, компаний Microsoft, Intel, АТТ и SBCCommunications вместо акций известных химических компаний.

Роль информационных технологий в развитии общества состоит в ускорении процессов получения, распространения и использования обществом новых знаний. Основные особенности современных ИТ можно свести к следующим аспектам:

- осязатима бизнес-потребность в доступе к неструктурируемой информации: текстам, графической, аудио-, видеоинформации. Ее интеграция со структурируемыми данными приведет к появлению нового класса инструментов.
- наблюдается тенденция слияния OLAP-систем (технологии обработки данных) с инструментами интеллектуального выбора данных.
- большинство информационных хранилищ обеспечиваются средствами получения аналитических данных.
- ИТ поддержки принятия решений проникают во все сферы экономической и финансовой деятельности: банковские, маркетинговые, финансовые системы, электронный бизнес, торговлю, корпоративные информационные системы.

Роль информационных технологий постоянно возрастает, что объясняется рядом их свойств:

- ИТ позволяют активизировать и эффективно использовать информационные ресурсы общества, что экономит другие виды ресурсов – сырье, энергию, полезные ископаемые, материалы и оборудование, людские ресурсы, социальное время;
- ИТ раньше были средством повышения персональной продуктивности сотрудников, а сегодня становятся силой,

помогающей компании получить и сохранить преимущества в конкурентной борьбе;

- ИТ реализуют наиболее важные, интеллектуальные функции социальных процессов;
- ИТ влияют не только на функционирование отдельных компаний, но и на экономику в целом. Они превращаются в социальное явление, определяющее, как выглядит общество в мировом масштабе;
- ИТ обеспечивают информационное взаимодействие людей, что способствует распространению массовой информации. Они быстро ассимилируются культурой общества, снимают многие социальные, бытовые и производственные проблемы, расширяют внутренние и международные экономические и культурные связи, влияют на миграцию населения по планете;
- ИТ занимают центральное место в процессе интеллектуализации общества, в развитии системы образования, культуры, новых (экранных) форм искусства, в популяризации шедевров мировой культуры, истории развития человечества;
- ИТ играют ключевую роль в процессах получения, накопления, распространения новых знаний;
- ИТ позволяют реализовать методы информационного моделирования глобальных процессов, что обеспечивает возможность прогнозирования многих природных ситуаций, экологических катастроф, крупных технологических аварий, повышенной социальной и политической напряженности;
- профессиональные знания включаются посредством ИТ в наукоемкие изделия и продаются на мировом рынке. Идет торговля невидимым продуктом: знаниями, культурой. Происходит навязывание стереотипа поведения. Именно поэтому в информационном обществе стратегическими ресурсами становятся информация, знание, творчество;
- информационные технологии оказывают огромное влияние посредством дистанционного обучения, компьютерных игр, компьютерных видеофильмов и др.

Заинтересованность во внедрении ИТ-технологий подтверждается общемировыми расходами на информационные технологии (рис. 1.1) [3]. Эти расходы в 2015 г. достигли двух триллионов долларов США и продолжают расти. Структуру расходов иллюстрируют такие цифры.

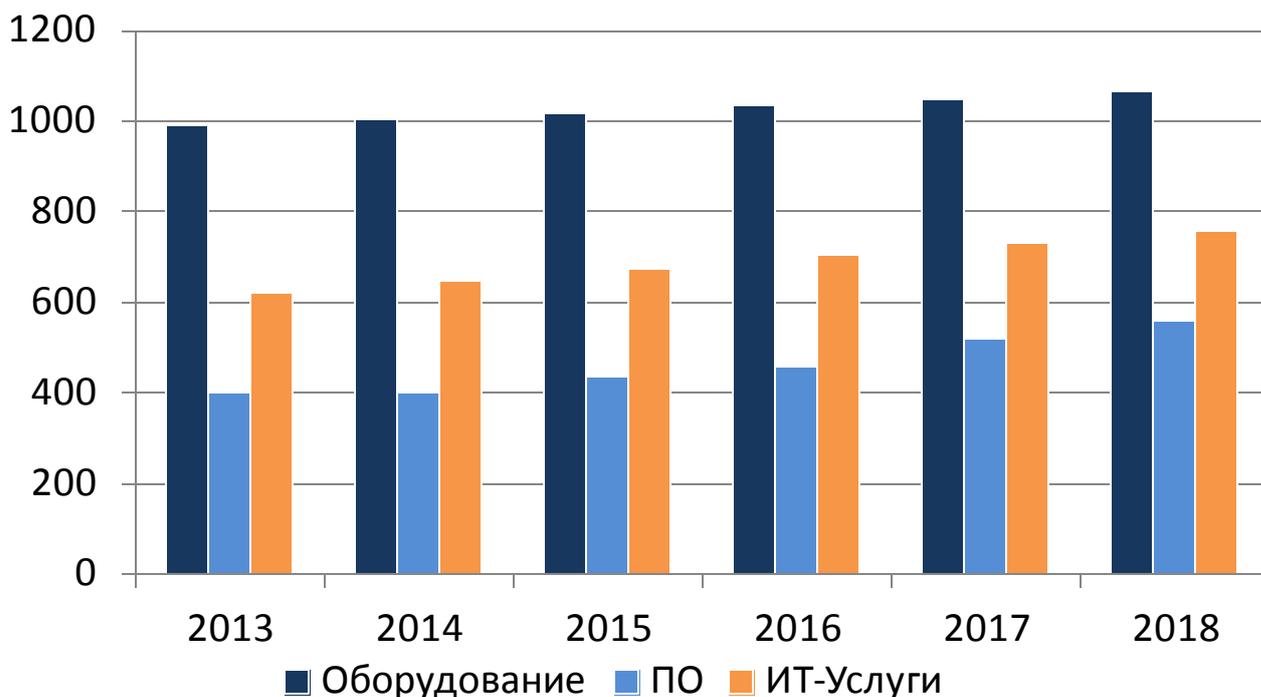


Рис. 1.1. Общемировые расходы на информационные технологии

На оборудование, включая компьютерные системы (серверы, ПК, планшеты и др.), периферийные устройства (печатающие устройства, мониторы и др.), системы хранения данных (дисковые, ленточные системы хранения и др.), телекоммуникационные системы предприятий и операторов услуг, а также смартфоны и мобильные телефоны тратится порядка 55% всех средств.

На системное инфраструктурное программное обеспечение (ПО), средства разработки и развертывания приложений, на сами приложения, в том числе для корпоративных социальных сетей и совместного доступа к файлам, тратится более 25% средств. Важно отметить, что:

- свыше половины расходов на ПО связаны с созданием приложений,
- общий рост затрат на ПО в целом и на приложения достигает 6% и 20% в год соответственно.

Остальные затраты связаны с предоставлением ИТ-услуг, таких как услуги планирования, внедрения, операционного управления, поддержки и обучения информационными компаниями.

Информационные технологии различны по своему функциональному применению, но они имеют общие характерные черты:

- графическое представление объектов в программах, в будущем видео-звуковое восприятие;
- дружелюбный пользовательский интерфейс, содержащий различные меню, подсказки, возможность возврата и отмены;
- интегрированность различных приложений, возможность выполнения операций связывания, внедрения, копирования и т.д.;

- участие пользователей в информационном процессе непосредственно на рабочем месте с использованием компьютерной техники;
- возможность коллективной работы над общими документами благодаря повсеместному распространению компьютерных сетей;
- использование различных специализированных информационных баз данных, необходимых конкретным специалистам;
- интерактивный режим работы, позволяющий вмешиваться в процесс обработки информации, изменяя исходные данные и управляющие действия;
- возможность адаптации специализированных систем к конкретным условиям их применения.

Ведущие американские специалисты в области управления Г. Поппель и Б. Голдстайн считают, что в дополнение к техническим средствам и технологий ведущую роль в развитии ИТ играют *сложные сочетания рыночных сил*, существующей среды и стратегического управления, породившие пять различных, но взаимосвязанных явлений, названных «*информационными тенденциями*», которые являются движущей силой в расширении использования и производства ИТ:

- **информационный продукт.** Информационный продукт в виде программных средств, баз данных и служб экспертного обеспечения приобретает стратегическое значение по сравнению с такими характеристиками средств, как вычислительная мощность, память или пропускная способность. При этом на первое место выступают его качество и доступность, т. к. деятельность человека в большей степени зависит от содержания, точности и своевременности получаемой информации;
- **способность к взаимодействию** на базе стандартизации информационных продуктов для обеспечения обмена информационным продуктом между всеми физическими и логическими элементами системы;
- **ликвидация промежуточных звеньев.** Использование новых информационных технологий ведет к созданию более совершенного рынка с минимальным количеством промежуточных звеньев между покупателем и продавцом;
- **глобализация.** Информационные технологии сделали объединительную тенденцию в общемировом хозяйстве необратимой. Глобализация создает благоприятные условия для экономических субъектов и видов деятельности по всему миру и новые каналы связи между ними. Преимущества глобализации ясно видны: более быстрый экономический рост, более высокий уровень жизни, ускоренное внедрение и распространение технических новшеств и навыков управления, новые экономические возможности как для отдельных лиц, так и для стран;

- **конвергенция.** Конвергенция является конечным результатом развития четырех описанных выше тенденций. *Исчезают различия* между изделиями и услугами, информационным продуктом и средствами, использованием в быту и для деловых целей, информацией и развлечением, а также среди отдельных режимов работы, таких, как передача звуковых, цифровых и видеосигналов.

Взаимосвязь между пятью информационными тенденциями, имеющая глубокие корни, усиливает каждую из них. Стремление к более совершенному информационному продукту влечет за собой развитие способности к взаимодействию, которая обеспечивает возможность ликвидации промежуточных звеньев. Последняя ведет к глобализации, которая в свою очередь - к конвергенции. И замыкая круг, конвергенция стимулирует распространение знаний в области ИТ, что способствует повышению спроса на информационный продукт.

1.1.2. Эволюция архитектуры информационных систем

Традиционные архитектурные решения информационных систем (ИС) основаны на использовании выделенных *файл-серверов или серверов баз данных*. Существуют также варианты архитектур корпоративных информационных систем, базирующихся на *технологии Internet* (Intranet-приложения). Следующая разновидность архитектуры информационной системы основывается на *концепции «хранилища данных» (DataWarehouse)* — интегрированной информационной среды, включающей разнородные информационные ресурсы. И, наконец, для построения глобальных распределенных информационных приложений используется архитектура интеграции информационно-вычислительных компонентов *на основе объектно-ориентированного подхода*.

Функции стандартного приложения можно разделить на три группы, имеющие различную природу. Первая группа - это функции ввода и отображения данных. Вторая группа объединяет чисто прикладные функции, характерные для данной предметной области. Наконец, к третьей группе относятся фундаментальные функции хранения и управления данными. В соответствии с этим в любом приложении можно выделить следующие логические компоненты:

1. компонент представления (presentation), реализующий функции первой группы;
2. прикладной компонент (business application), поддерживающий функции второй группы;
3. компонент доступа к информационным ресурсам (resource access) или менеджер ресурсов (resource manager), поддерживающий функции третьей группы.

Различия в реализации приложений в рамках технологий "хост/терминал" и "клиент/сервер" определяются тем, какие механизмы

используются для реализации функций всех трех групп, и тем, как логические компоненты распределяются между компьютерами в сети.

1.1.2.1. Архитектура «хост/терминал»

В архитектуре «хост/терминал» (рис. 1.2) функции всех трех групп совмещены в одном коде, который выполняется на компьютере-сервере (хосте). Компьютер-клиент в данной архитектуре отсутствует в принципе, а ввод и отображение данных производятся через терминал или компьютер в режиме эмуляции терминала. Приложения обычно разрабатываются на языке четвертого поколения (4GL).

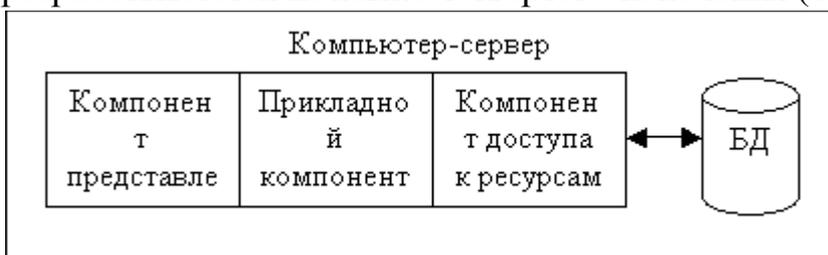


Рис. 1.2. Архитектура "хост/терминал".

Преимуществами данной архитектуры являются:

1. Простота разработки приложений.
2. Удобство администрирования и обновления ПО, т.к. все части прикладной системы размещаются на одном компьютере.
3. Низкий трафик, создаваемый в сети, т.к. по сети пересылаются только данные, вводимые пользователем, и данные, отображаемые на экране. Благодаря этому возможна работа по низкоскоростным линиям.
4. Низкая стоимость оборудования рабочих мест. На рабочих местах можно использовать терминалы или дешевые компьютеры с невысокими характеристиками в режиме эмуляции терминала.

К недостаткам можно отнести:

1. Высокие требования ко времени отклика в сети. Несмотря на небольшой объем данных, пересылаемых по сети, время отклика является критичным, т.к. каждый символ, введенный пользователем на терминале, должен быть передан на сервер, обработан приложением и возвращен обратно для вывода на экран терминала.
2. Высокие требования к характеристикам компьютера-сервера, т.к. все пользователи разделяют его ресурсы.
3. Невозможность распределения нагрузки между несколькими компьютерами.
4. Невозможность использования графического интерфейса.

1.1.2.2. Архитектура "клиент/сервер"

Различают несколько моделей архитектуры «клиент-сервер», каждая из которых отражает соответствующее распределение компонентов программного обеспечения между компьютерами сети. Распределяемые программные компоненты выделяют по

функциональному признаку. В архитектуре "клиент/сервер" функции приложения распределены между двумя (или более) компьютерами. В соответствии с тем, каким образом это сделано, выделяются три модели архитектуры "клиент/сервер":

1. Модель доступа к удаленным данным (Remote Data Access - RDA);
2. Модель сервера базы данных (DataBase Server - DBS);
3. Модель сервера приложений (Application Server - AS).

RDA-модель

В RDA-модели (рис. 1.3) коды компонента представления и прикладного компонента совмещены и выполняются на компьютере-клиенте. Последний поддерживает как функции ввода и отображения данных, так и прикладные функции ("толстый" клиент).

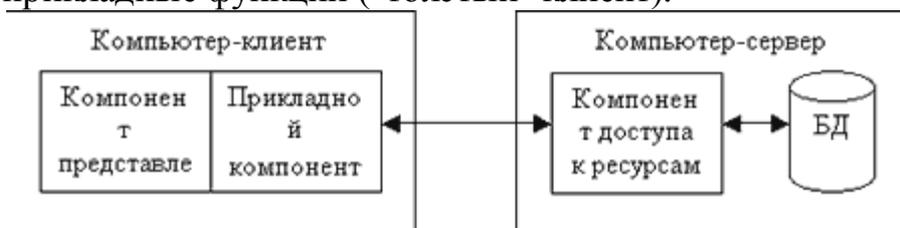


Рис. 1.3. RDA-модель.

Доступ к информационным ресурсам обеспечивается, как правило, операторами специального языка (например, SQL) или вызовами функций специальной библиотеки (если имеется соответствующий API). Запросы к информационным ресурсам направляются по сети удаленному компьютеру-серверу базы данных. Последний обрабатывает и выполняет запросы и возвращает клиенту блоки данных. Говоря об архитектуре "клиент/сервер", в большинстве случаев имеют в виду именно эту модель. Основным преимуществом RDA-модели является широкий выбор средств быстрой разработки приложений (RAD) различных фирм. Существует множество инструментальных средств, обеспечивающих быстрое создание приложений, работающих с SQL-ориентированными СУБД. Большинство из них поддерживают графический интерфейс пользователя в MS Windows, стандарт интерфейса ODBC, содержат средства автоматической генерации кода. Подавляющее большинство этих средств разработки на языках четвертого поколения (включая и средства автоматизации программирования) как раз и создают коды, в которых смешаны прикладные функции и функции представления.

В то же время RDA-модель имеет ряд ограничений.

1. Очень большая загрузка сети. Приложение является нераспределенным, и вся его логика локализована на компьютере-клиенте, поэтому взаимодействие его с сервером посредством SQL-запросов приводит к передаче по сети данных большого объема, возможно, избыточных. Как только число клиентов возрастает, сеть становится узким местом, ограничивая быстродействие всей информационной системы.

2. Сложность ведения больших проектов. Очевидно, что если различные по своей природе функции (функции представления и чисто прикладные функции) смешаны в одной и той же программе, написанной на языке 4GL, то при необходимости изменения прикладных функций приходится переписывать всю программу целиком. При коллективной работе над проектом, как правило, каждому разработчику поручается реализация отдельных прикладных функций, что делает невозможным контроль за их взаимной непротиворечивостью. Каждому из разработчиков приходится программировать интерфейс с пользователем, что ставит под вопрос единый стиль интерфейса и его целостность.
3. Сложность обновления программного обеспечения, т.к. его замену необходимо производить одновременно на всех компьютерах-клиентах.
4. Низкий уровень безопасности, т.к. реализация разграничения доступа по функциям возможна только на стороне клиента, а на стороне сервера разграничение выполняется только по таблицам базы данных, что снижает защищенность.

DBS-модель

В DBS-модели (рис. 1.4) процесс, выполняемый на компьютере-клиенте, ограничивается функциями представления ("тонкий" клиент), а прикладные функции реализованы в хранимых процедурах (stored procedure), которые также называют компилируемыми резидентными процедурами, или процедурами базы данных. Они хранятся непосредственно в базе данных и выполняются на компьютере-сервере базы данных, где функционирует и компонент, управляющий доступом к данным, то есть ядро СУБД.



Рис. 1.4. DBS-модель.

DBS-модель реализована в некоторых реляционных СУБД ([Ingres](#), [Sybase](#), [Oracle](#)). Ее основу составляет механизм хранимых процедур - средство программирования ядра СУБД. Процедуры хранятся в словаре базы данных, разделяются между несколькими клиентами и выполняются на том же компьютере, где функционирует ядро СУБД. Язык, на котором разрабатываются хранимые процедуры, представляет собой процедурное расширение языка запросов SQL.

Преимущества DBS-модели очевидны:

1. Возможность централизованного администрирования бизнес-функций, размещенных на сервере.

2. Снижение трафика в сети.
3. Возможность разделения процедуры между несколькими приложениями, и экономия ресурсов компьютера за счет использования единой созданного плана выполнения процедуры.

Однако есть и недостатки:

1. Средства, используемые для написания хранимых процедур, строго говоря, не являются языками программирования в полном смысле слова. Это разнообразные процедурные расширения SQL, не выдерживающие сравнения по изобразительным средствам и функциональным возможностям с языками третьего поколения (C или Pascal) и тем более четвертого поколения. Они встроены в конкретные СУБД, и, естественно, рамки их использования ограничены. Следовательно, система, в которой прикладной компонент реализован при помощи хранимых процедур, не является мобильной относительно СУБД. В большинстве СУБД отсутствуют возможности отладки и тестирования хранимых процедур, что превращает последние в весьма опасный механизм. Во многих реализациях процедуры являются интерпретируемыми, что делает их выполнение более медленным.
2. Не обеспечивается требуемой эффективности использования вычислительных ресурсов. Объективные ограничения в ядре СУБД не позволяют пока организовать в его рамках эффективный баланс загрузки, миграцию процедур на другие компьютеры-серверы БД и реализовать другие полезные функции. Попытки разработчиков СУБД предусмотреть в своих системах эти возможности (распределенные хранимые процедуры, запросы с приоритетами и т. д.) пока не позволяют добиться желаемого эффекта.
3. Децентрализация приложений (один из ключевых факторов современных информационных технологий) требует существенного разнообразия вариантов взаимодействия клиента и сервера. При реализации прикладной системы могут понадобиться такие механизмы взаимодействия, как хранимые очереди, асинхронные вызовы и т. д., которые в DBS-модели не поддерживаются.

На практике часто используются смешанные модели, когда поддержка целостности базы данных и некоторые простейшие прикладные функции поддерживаются хранимыми процедурами (DBS-модель), а более сложные функции реализуются непосредственно в прикладной программе, которая выполняется на компьютере-клиенте (RDA-модель).

AS-модель

В AS-модели (рис. 1.5) процесс, выполняющийся на компьютере-клиенте, отвечает, как обычно, за ввод и отображение данных (то есть реализует функции первой группы). Прикладные функции выполняются группой процессов (серверов приложений), функционирующих на

удаленном компьютере (или нескольких компьютерах). Доступ к информационным ресурсам, необходимым для решения прикладных задач, обеспечивается таким же способом, что и в RDA-модели. Серверы приложений выполняются, как правило, на том же компьютере, где функционирует менеджер ресурсов, однако могут выполняться и на других компьютерах.



Рис.1.5. AS-модель

Основным элементом принятой в AS-модели трехзвенной схемы является сервер приложения. В его рамках реализовано несколько прикладных функций, каждая из которых оформлена как служба (service) и предоставляет некоторые услуги всем программам, которые желают и могут ими воспользоваться. Серверов приложений может быть несколько, и каждый из них предоставляет определенный набор услуг. Любая программа, которая пользуется ими, рассматривается как клиент приложения (Application Client - AC). Детали реализации прикладных функций в сервере приложений полностью скрыты от клиента приложения. AC обращается с запросом к конкретной службе, но не к AS, то есть серверы приложений обезличены и служат лишь своего рода "рамкой" для оформления служб, что позволяет эффективно управлять балансом загрузки. Запросы, поступающие от AC, выстраиваются в очередь к AS-процессу, который извлекает и передает их для обработки службе в соответствии с приоритетами.

AC трактуется более широко, чем компонент представления. Он может поддерживать интерфейс с конечным пользователем (тогда он является компонентом представления), может обеспечивать поступление данных от некоторых устройств (например, датчиков), может, наконец, сам по себе быть AS. Последнее позволяет реализовать прикладную систему, содержащую AS нескольких уровней. Архитектура такой системы может выглядеть как ядро, окруженное концентрическими кольцами. Ядро состоит из серверов приложений, в которых реализованы базовые прикладные функции. Кольца символизируют наборы AS, являющихся клиентами по отношению к серверам нижнего уровня. Число уровней серверов в AS-модели, вообще говоря, не ограничено.

AS-модель в наибольшей степени отражает сильные стороны технологии "клиент/сервер":

1. Четкое разграничение логических компонентов приложения.
2. Возможность баланса загрузки между несколькими серверами.

3. Значительное снижение трафика между клиентом и сервером приложений, дающее возможность работы по медленным линиям связи.
4. Высокий уровень защиты данных, т.к. они являются "спрятанными" за сервисами приложения, в которые можно встроить проверку полномочий клиента.
5. Возможность использования в качестве клиентской части приложения стандартного браузера.
6. Упрощение процесса обновления ПО.

Фундаментальное различие между моделями архитектуры "клиент/сервер" заключается в следующем. RDA- и DBS-модели опираются на двухзвенную схему разделения функций. В RDA-модели прикладные функции приданы программе-клиенту, в DBS-модели ответственность за их выполнение берет на себя ядро СУБД. В первом случае прикладной компонент сливается с компонентом представления, во втором - интегрируется в компонент доступа к информационным ресурсам. Напротив, в AS-модели реализована классическая трехзвенная схема разделения функций, где прикладной компонент выделен как важнейший элемент приложения, для его определения используются универсальные механизмы многозадачной операционной системы, и стандартизованы интерфейсы с двумя другими компонентами. Собственно, из этой особенности AS-модели и вытекают ее преимущества.

1.1.2.3. Архитектура «клиент-сервер», основанная на Web-технологии

Многие недостатки, присущие компьютерным сетям с классической архитектурой «клиент-сервер», отсутствуют в вычислительных системах новой архитектуры, которые сконцентрировали и объединили в себе лучшие качества централизованных систем и классических систем «клиент-сервер». Новая архитектура компьютерных сетей была названа интранет-архитектура. Ее часто называют также Web-архитектурой, или архитектурой «клиент-сервер», основанной на Web-технологии. Эта архитектура явилась итогом многолетних исследований и разработок в области приложения глобальных сетевых технологий Интернет к локальным сетям. Появление в 1993 г. архитектуры интранет относят к началу третьего этапа эволюции вычислительных систем.

Основной особенностью архитектуры интранет является возвращение к серверам ряда функций, которые были вынесены за пределы центральной ЭВМ на втором этапе эволюции вычислительных систем. Базисом новой архитектуры является Web-технология, пришедшая из Интернета.

В соответствии с Web-технологией на сервере размещаются так называемые Web-документы, которые визуализируются и интерпретируются программой навигации, функционирующей на

рабочей станции (рис. 1.6). Программу навигации называют еще Web-навигатором, или Web-браузером.

Логически Web-документ представляет собой гипермедийный документ, объединяющий ссылками различные Web-страницы, каждая из которых может содержать ссылки и на другие объекты. Физически Web-документ представляет собой текстовый файл специального формата, содержащий ссылки на другие объекты и Web-документы, расположенные в любом узле сети. Web-документ реально включает только одну Web-страницу, но логически может объединять любое количество таких страниц, принадлежащих различным Web-документам.



Рис.1.6. Архитектура «клиент-сервер», основанная на Web-технологии

Web-страница, являясь информационным аналогом страницы бумажного носителя, может включать как текст, так и рисунки. Но, в отличие от бумажной страницы, Web-страница может быть связана с компьютерными программами и содержать ссылки на другие объекты. Программа, связанная с Web-страницей, начинает автоматически выполняться при переходе по соответствующей ссылке или открытии Web-страницы. Любые ссылки, включенные в Web-страницу, выделяются другим цветом и/или подчеркиванием. Для перехода по ссылке достаточно щелкнуть по ней мышью.

Получаемая таким образом система гиперссылок основана на том, что некоторые выделенные участки одного документа, которыми могут быть части текста и рисунки, выступают в качестве ссылок на другие логически связанные с ними объекты. При этом объекты, на которые делаются ссылки, могут находиться на любом компьютере сети. В Web-страницу могут быть включены ссылки на следующие объекты:

- другую часть Web-документа;

- другой Web-документ или документ другого формата (например, документ Word или Excel), который может размещаться на любом компьютере сети;
- мультимедийный объект - рисунок, звук, видео;
- программу, которая при переходе на нее по ссылке будет выполняться на сервере;
- программу, которая при переходе на нее по ссылке будет передана с сервера на рабочую станцию для интерпретации или запуска на выполнение навигатором;
- любой другой сервис - электронную почту, копирование файлов с другого компьютера сети, поиск информации и т.д.

Из раскрытого понятия Web-документа становится ясно, что программа навигации, выполняемая на рабочей станции, может не только визуализировать Web-страницы и выполнять переходы к другим объектам, но и активизировать программы на сервере, а также интерпретировать и запускать на выполнение программы, относящиеся к Web-документу, для исполнения на рабочей станции.

Передачу с сервера на рабочую станцию документов и других объектов по запросам, поступающим от навигатора, обеспечивает функционирующая на сервере программа, называемая Web-сервером. Когда Web-навигатору необходимо получить документы или другие объекты от Web-сервера, он отправляет серверу соответствующий запрос. При достаточных правах доступа между сервером и навигатором устанавливается логическое соединение. Далее сервер обрабатывает запрос, передает Web-навигатору результаты обработки, например требуемый Web-документ, и разрывает установленное соединение.

Web-сервер выступает в качестве информационного концентратора, который доставляет информацию из разных источников, а потом однородным образом предоставляет ее пользователю. Навигатор, снабженный универсальным и естественным интерфейсом с человеком, позволяет последнему легко просматривать информацию вне зависимости от ее формата.

Таким образом, в рамках Web-документа может быть выполнена интеграция данных и программных объектов различных типов, расположенных в совершенно разных узлах компьютерной сети. Это позволяет рассредоточивать информацию в соответствии с естественным порядком ее создания и потребления, а также осуществлять единообразный доступ. Приставка Web здесь, а также в названии самой технологии (англ. web - паутина), как раз и отражает тот факт, что работа пользователя осуществляется на основе перехода по ссылкам, которые как нити паутины связывают разнотипные объекты, распределенные по узлам компьютерной сети.

Web-документы, помимо связывания распределенных и разнотипных данных, позволяют рассматривать информацию с нужной степенью детализации, что существенно упрощает анализ больших объемов информации. Можно сосредоточить внимание на главном, а затем изучить выбранный материал в подробностях. Можно эффективно реализовать многомодельный подход представления материала, создавая различные «взгляды» на требуемую предметную область, отражающие точки зрения той или иной группы сотрудников организации.

Компьютер-клиент, на котором должна выполняться программа навигации, может быть полностью стандартизован. В такой компьютер помимо процессора, основной памяти и монитора достаточно включить небольшой участок внешней памяти, необходимый для хранения и работы программы навигации, а также устройство сопряжения с линией связи. Кроме того, программу навигации можно реализовать аппаратно в специализированном процессоре.

1.1.2.4. Перспектива развития и конвергенции информационных технологий

Сегодня основные перспективы развития информационной отрасли связаны с созданием третьей платформы информатизации. В отличие от первой платформы, основанной на мейнфреймах и предоставлявшей миллионам пользователей услуги тысячи приложений, и второй платформы, которая на базе «классического» интернета обслуживает сотни миллионов пользователей при помощи десятков тысяч приложений, третья платформа призвана объединить миллиарды пользователей при помощи миллионов приложений.

Развитие третьей платформы уже меняет жизненный уклад людей, созданный благодаря информатизации за последние десятилетия [4]. Ее элементами являются (рис.1.7):



Рис. 1.7. Группы технологий 3-й платформы информатизации

- облачные вычисления;
- интернет вещей;
- большие данные;
- мобильный широкополосный доступ;
- наложенные сервисы.

Эти пять групп технологий образуют единую платформу, поскольку развитие любой из них опирается на другие элементы и способствует развитию других элементов. Эти технологии нельзя реализовать ни на базе архитектуры мейнфреймов, ни на базе архитектуры WEB-технологии.

Необходимость и возможность внедрения целого комплекса новых технологий, обеспечивающих информационное взаимодействие в рамках третьей платформы, стимулируется и поддерживается:

- масштабами цифровой вселенной;
- значением информационной инфраструктуры для конкурентоспособности государств, регионов, предприятий, организаций, семей и отдельных личностей;
- достижениями в области электроники, фотоники и радиотехники;
- образованием инфокоммуникационных технологий за счет конвергенции информационных технологий сохранения, распространения и обработки данных.

Облачные технологии могут рассматриваться как третий этап эволюции архитектур информационных систем [5]:

Этап 1. Полная централизация ресурсов, доступ пользователей к ресурсам в динамическом режиме разделения времени.

Этап 2. Децентрализация, разделение функций между клиентами и серверами.

Этап 3. Централизация, дистанционный доступ к распределенным ресурсам.

Облачные вычисления снижают стоимость и повышают экологичность вычислительных мощностей и хранилищ за счет мультитенантной архитектуры, при которой разные пользователи в рамках одного сервиса изолированно обслуживаются на уровне данных и (или) любых других ресурсов (рис. 1.8).



Рис. 1.8. Вычислительное облако – новый вид архитектуры ИС
Архитектура облачных вычислений объединяет преимущества мейнфреймов и клиент-серверной архитектуры.

Стоимость реализации вычислительных операций уменьшается за счет увеличения масштаба вычислительной системы. Использование оборудования может достигать 90% и более (рис. 1.9).

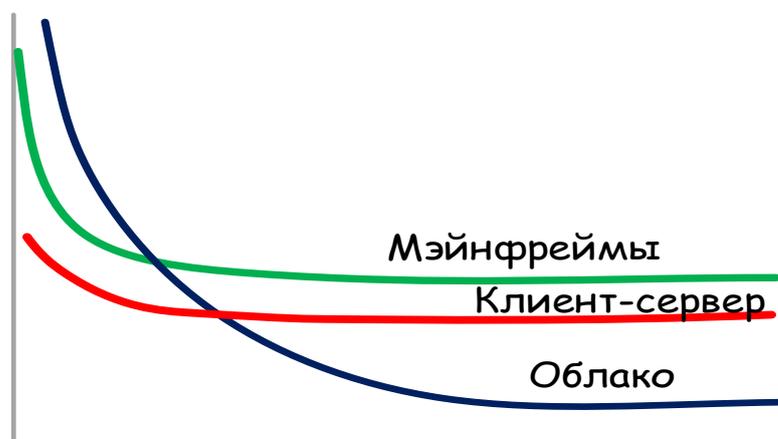


Рис. 1.9. Характер зависимости стоимости вычислительных операций от количества операций, выполняемых в единицу времени

Ключевым структурным элементом облачных вычислений является центр обработки данных (ЦОД). ЦОД – это специализированная площадка для размещения сложного инженерного оборудования, предназначенного для централизованного, дистанционного, безопасного и надежного информационного обслуживания пользователей при помощи пула вычислительных ресурсов [5]. Причины широкого использования ЦОД:

- низкие затраты на владение;
- стандартизированные решения;
- низкий уровень выброса CO₂;
- высокая автоматизация;
- высокая плотность;
- модульность и др.

Интернет и всемирная паутина (World Wide Web), как главный инструмент предоставления доступа к связанным между собой гипертекстовым документам (web-страницам, сайтам), в своем развитии прошли ряд этапов. С точки зрения процедуры доступа пользователей к информационным ресурсам можно выделить:

- статический (информирующий) интернет или WEB1. Он характеризуется предоставлением доступа к информационным ресурсам в основном в статическом режиме при минимальной интерактивности пользователей. Данные на Web-сайтах, доступные внешней аудитории, представляют собой описание того или иного объекта или процесса. Ресурсы формируются и управляются профессиональными редакторами, контент-менеджерами и журналистами;

- интерактивный (социальный) интернет или WEB2. Здесь организуется интерактивный обмен данными между пользователями и

Web-сайтами. Пользователи имеют возможность формировать содержание Web-сайта и, используя его сервисы, организовать информационное взаимодействие друг с другом [6]. Наиболее мощными системами, объединяющими многие технологии, являются социальные сети;

- интернет вещей или WEB3. Это технологии, когда не только люди, но и физические, и виртуальные вещи, включая и Web-сайты, могут взаимодействовать друг с другом, инициировать транзакции, информировать пользователей, оказывать влияние на контент, вовлекать в сеть пассивно идентифицируемые объекты. Создаются сотовые сети связи для умных вещей и социальные сети умных вещей для обмена данными в интересах человека [7].

Интернет вещей (Internet of Things, IoT) – это сеть объектов двух типов:

- идентифицируемых вещей, которые взаимодействуют по стандартным протоколам между собой и с окружающей их средой без участия человека;

- цифровых образов этих вещей, которые размещены в вычислительных облаках. IoT уже сегодня формирует значительную часть цифровой вселенной.

По прогнозу европейского проекта по интернету вещей (IERC – European Research Cluster on the Internet of Things) развитие интернет вещей должно пойти в 4-х направлениях.

Интернетлюдей (IoP – Internet of People). Интернет для повседневной жизни людей, организаций и общества должен снять барьеры между производителями и потребителями информации.

Интернет энергии (IoE – Internet of Energy). Интернет как система поддержки управления энергетическими ресурсами и обеспечения сохранности окружающей среды для последующих поколений человечества.

Интернет медиа (IoM – Internet of Media). Интернет для обеспечения людей высококачественным мультимедийным контентом, мобильными приложениями, объединяющими многих участников, возможностями создания виртуальных миров и др.

Интернет услуг (IoS – Internet of Service). Интернет для обеспечения людей качественными информационными услугами сохранения, распространения и обработки информации.

Интернет вещей обеспечивает переход к следующему поколению производственных систем и с этой точки зрения является промышленным интернетом. Согласно этой концепции, промышленные роботы к 2020-25 гг. будут понимать происходящее вокруг и общаться друг с другом по протоколам интернета вещей. На смену кибернетическим, физическим и биологическим системам придут киберфизикобиологические системы.

В основе интернета вещей лежат *технологии межмашинного взаимодействия (M2M)* [8], которые используют сети, как правило, сотовой связи для обмена данными между машинами в симплексном или дуплексном режиме. Примерами областей применения M2M являются:

- сотовые модемы – скачивание данных, навигаторы, банкоматы и т.п.;
- GPS-трекеры – наблюдение за транспортом (контроль скорости, маршрута и т.п.);
- счетчики потребления – электричества, воды, газа и т.п.;
- контроллер автомобиля – местоположение и любые другие измеряемые параметры;
- мониторы здоровья – температуратела, кровяное давлением, пульс;
- управление оборудованием;
- контроль безопасности – видеокамеры, датчики вибрации, движения и др.

Архитектура и желаемые свойства инфокоммуникационных систем и сетей сегодня во многом зависят от объемов больших данных. *Понятие большие данные подразумевает работу с данными:*

- огромного объема;
- разного состава (текущие, исторические, неструктурированные, мониторинга и др.);
- различного формата;
- интенсивно обновляемыми;
- находящимися в разных источниках;
- в реальном масштабе времени.

Большие данные требуют больших расходов. В 2015 г. в мире они превысили \$30 млрд. долл/, а к 2018 г. достигнут 70 млрд. Сэкономить на владении соответствующим оборудованием и программным обеспечением можно при помощи облачных технологий. Стоимость хранения данных в облачном хранилище зависит от требований пользователей к времени доступа к этим данным. Различают режимы реального времени (online), по запросу (nearline) и со значительными задержками (offline). В последнем случае могут использоваться холодные хранилища, вообще не подключенные к сетям. Увеличение допустимого времени отклика позволяет уменьшить стоимость хранения, т.к. упрощается оборудование поиска носителей данных.

В архитектуре клиент-сервер задачи работы с данными решаются при помощи реляционных баз. Большие данные требуют новым схем для их упорядочивания. Так, в частности, во многих системах становятся востребованы не реляционные базы данных NoSQL. За 2013-14 гг. их доля выросла с 8,7% до 15,2%, в то время как доля реляционных баз сократилась с 90% до 84,7%. Это обстоятельство связано и с

особенностями и разнообразием приложений 3-й платформы информатизации.

Модели данных NoSQL способны:

- обрабатывать огромные объемы данных, используя аппаратные возможности распределенной архитектуры ЦОД;
- поддерживать работу огромного количества пользователей, обеспечивая достаточно малое время отклика при большой нагрузке;
- создавать гибкие, не ограниченные жесткой схемой структуры данных.

Методологическим обоснованием NoSQL является теорема CAP (Consistency, high Availability, tolerance to network Partitions):

«В распределенной системе невозможно одновременно обеспечить:

- 1) согласованность в смысле наличия единственной копии данных;
- 2) высокий уровень доступности в смысле своевременности отклика по любому запросу;
- 3) устойчивость при разделении распределенной системы на изолированные части».

NoSQL жертвует согласованностью для достижения высокой доступности и устойчивости (рис. 1. 10).

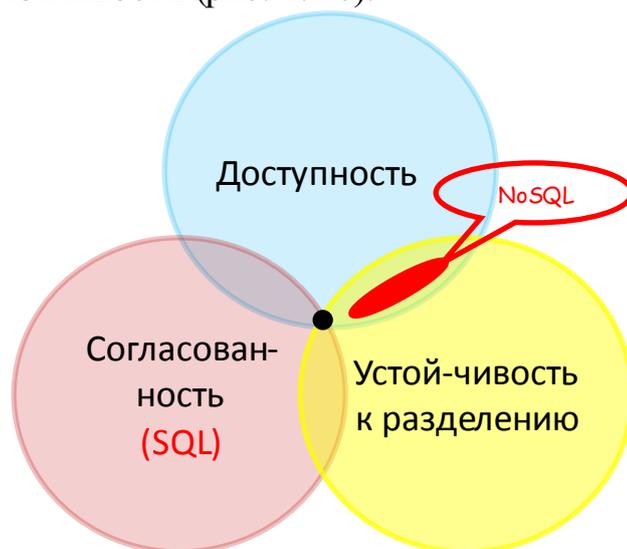


Рис.2.17. Теорема CAP

Большие данные требуют новых методов анализа. Одним из таких подходов является технология добычи знаний (Data Mining), которая позволяет алгоритмическими методами обнаружить в сырых данных нетривиальные, скрытые и полезные для практики закономерности, а также строить предсказательные модели. Например, технологии больших данным позволили получить важные результаты в следующих ситуациях:

Как уменьшить время и повысить точность диагностики тех или иных болезней?

Какие пакеты услуг повысят доход инфокоммуникационной компании?

Какие закономерности еще не найдены в данных климатических наблюдений? И т.д.

Любые, даже незначительные, изменения сети связи следующего поколения NGN, созданной за последние десятилетия, связаны с существенными экономическими затратами. Поэтому в рамках 3-й платформы информатизации развиваются технологии наложенных сервисов, когда новые информационные услуги создаются за счет наложения нового оборудования и ПО на уже существующую информационную инфраструктуру.

С технологической точки зрения такой подход был разработан и использовался и на предыдущих этапах создания сетей связи, когда формировались, например:

- первичная и вторичные сети,
- интеллектуальная сеть,
- сервисы и услуги интернет (WWW, электронная почта, FTP, DNS, Tripleplay, IP-TV, VoIP и др.).

С организационно-экономической точки зрения, наложенные сервисы означают отделение процессов предоставления информационных услуг операторами наложенных сервисов от процессов управления сетями со стороны операторов связи и интернет провайдеров.

Технологии наложенных сервисов изменили ситуацию, когда все услуги интернет предоставляли несколько ведущих провайдеров (upstream Internet Service Providers).

Наложённые сервисы – это одна из примет информационного общества. Они дают возможность самовыражения все большему кругу людей, распространяющих информацию.

Сеть NGN и WWW дают удобный транспорт и адресацию для любых информационных сервисов и позволяют вывести управление услугами за пределы зоны ответственности провайдеров интернет (рис. 1.11).



Рис. 1.11. Принцип организации наложенных сервисов

OTT (Over the top, наложенный сервис) [9] – это метод (формат), с помощью которого набор данных (цифровой контент, файлы), разбивается на IP пакеты и доставляется от одного компьютера к другому

по сетям сторонних операторов связи от источника к получателю. Принципиальное отличие ОТТ заключается в том, что оператор связи не контролирует ОТТ-сервис, а ОТТ-сервис не контролирует сеть оператора и не гарантирует качество обслуживания.

ОТТ сервис-провайдер – провайдер, оказывающий услуги по предоставлению пользователям доступа к цифровому контенту методом ОТТ.

Программный продукт ОТТ – совокупность программных решений, предназначенных для распространения и воспроизведения цифрового контента на пользовательских устройствах, включающий, в частности, сайты интернет, приложения для мобильных и стационарных устройств, плееры для воспроизведения контента и другое ПО.

Для удобства работы пользователя приложение должно предоставлять единый интерфейс на любых устройствах, а ПО может реализовывать дополнительно социальные функции оценки контента, взаимодействия с другими пользователями, комментирования и др.

Платформами для распространения ОТТ контента являются:

- Web сервисы (Web) – сервисы, доступ к которым осуществляется посредством сети интернет через браузер воспроизводящего устройства или специально предложенный интерфейс и программный продукт;

- мобильные сервисы (Mobile) – сервисы, предоставляющие доступ к контенту на мобильных устройствах с функциями, поддерживающими работу в сети интернет, либо с помощью других технологий передачи цифрового контента;

- SmartTV (или ConnectedTV) – технология, обеспечивающая интеграцию онлайн сервисов по доставке контента через сеть интернет в телевизоры и цифровые ресиверы, а также телевизоры, отвечающие этим требованиям и поддерживающие подключение к сети интернет;

- «Сет-топ бокс» (Set-TopBox или STB) – техническое устройство, которое при подсоединении к современной модели бытового телевизора позволяет ему выполнять функции Smart TV;

- игровая приставка, игровая консоль – специализированное бытовое электронное устройство, основное предназначение которого – поддержка процесса видеоигр;

- мультискрин – услуга, позволяющая просматривать цифровой контент на одном или нескольких авторизованных устройствах с установленным пользовательским программным продуктом, который оператор предоставляет через сети связи.

Одной из примет нашего времени стали так называемые социальные сети. Социальная сеть (в узком смысле) – это информационная платформа, которая предназначена для построения, отражения и организации социальных (общественных, человеческих) отношений. Свойства интернета позволяют реализовать такую платформу в виде ОТТ сервисов и тогда социальная сеть (как часть интернет) – это WEB-сайт,

который за счет персонализации пользователей и путем объединения их в виртуальные группы с общими интересами для общения и (или) работы создает возможность социальных отношений в цифровом пространстве.

Пользователь имеет возможность получить инфокоммуникационную услугу только если ему доступны широкополосные соединения, которые сложнее и дороже всего организовать на последней миле. Известно две количественные оценки для понятия широкополосного доступа (ШПД):

- международный союз электросвязи (ITU-T 1.113). ШПД – это канал со скоростью передачи данных в прямом направлении не менее 2 Мбит/с (скорость обратного канала не учитывается);
- федеральная комиссия связи США. ШПД – это канал со скоростями передачи данных в прямом и обратном направлениях, соответственно, не менее 768 кбит/с и 256 кбит/с (такой канал дает возможность получать облачные средние потребительские сервисы).

Следует различать ШПД на последней миле по каналам проводной и беспроводной связи. Проводной доступ осуществляется посредством медного или оптоволоконного кабеля, являющегося направляющей средой для передаваемых сигналов. *Главное преимущество – это воспроизводимость частотного ресурса, который практически не может быть исчерпан по мере увеличения количества систем передачи.*

Беспроводной или радио доступ вместо направляющей среды использует эфир. Главный недостаток – сложность организации одновременной работы многих источников сигналов на одной частоте и, как следствие, невозможность воспроизводства частотного ресурса. Главное достоинство – возможность передачи сигналов между подвижными объектами.

1.1.2.5. Предпосылки конвергенции связных и информационных технологий

В основе конвергенции современных связных и информационных технологий, в первую очередь лежат современные достижения в области создания нанотехнологий, микропроцессоров, фотоники, волоконно-оптических систем передачи и коммутации, технологий транспортировки информации, систем программирования, компьютерных сетей связи и стандартизации широкополосных интерфейсов «пользователь-сеть». В соответствии с законом Г. Мура [5] (рис. 1.12), количество транзисторов на одном кремниевом кристалле и производительность кремниевых интегральных микросхем удваивались каждые 18 месяцев, а их стоимость уменьшалась на 50%. В результате сегодня каждый месяц производится не менее миллиона транзисторов на одного жителя Земли.

Успешному внедрению мультимедиа в нашей стране сопутствует так же переход к новым типам стандартных широкополосных интерфейсов «пользователь-сеть» и предоставление пользователю полосы пропускания в *сети доступа* в диапазоне 100кбит/с–2Мбит/с. В числе основных систем, применяемых в сетях доступа или планируемых операторами к применению, в ближайшем будущем можно выделить [10-13]: системы, основанные на технологиях семейства «цифровая абонентская линия» xDSL; систему доступа с использованием специальных модемов в сетях кабельного ТВ (Cable modems); комбинированные системы «волокно/коаксиал» (Hybrid Fixed/Coax, HFC); оптоволоконные системы доступа; системы радио доступа (например, технологии сотовых сетей; WLL, LMDS, MMDS и др.); спутниковые системы; выделенные линии с использованием систем E1/T1. Благодаря современным методам модуляции, сжатия сигналов, их интеллектуальной обработки и построения множественных приемопередающих антенн (технология ММО), удалось значительно увеличить спектральную эффективность и превратить радиосистемы в основную технологию широкополосного доступа к ресурсам информационных систем.

Процессы конвергенции затрагивают и *терминальное оборудование* сетей. С позиции пользователей конвергенция проявляется в функциональности терминалов, при помощи которых теперь можно, и сохранять, и распространять, и обрабатывать данные одновременно. Происходит объединение различных по назначению конечных устройств (телефона, персонального компьютера и ТВ-приемника) в единый многофункциональный терминал. Традиционный телефон является устройством связи и его функциональные возможности по обработке и хранению информации реализованы на довольно низком системном уровне (например, для хранения в памяти телефонных номеров). Его совмещение с компьютером позволяет решить задачу создания интеллектуального терминала. Специализированные ПК все шире применяются для предоставления расширенного спектра услуг, таких как организация голосовой почты, факсимильной связи, голосового набора и т.д. Можно ожидать, что бытовой телевизор скоро также станет многофункциональным терминалом, так как в этом направлении ведутся соответствующие разработки. Для превращения телевизора в универсальный терминал, к нему достаточно добавить специальную ТВ-приставку STB (*Set-Top Box*). Появление ТВ-приставок было обусловлено внедрением цифрового телевидения. Их функция сводилась к декодированию цифрового видеосигнала. Позднее появились ТВ-приставки, декодирующие специально зашифрованные платные программы. Сегодня предлагаются ТВ-приставки, которые могут с использованием модемов поддерживать банковские операции и электронные покупки. Постепенно функциональность ТВ-приставок приближается к функциональности ПК. Усовершенствованные ТВ-

приставки могут поддерживать доступ в Интернет, включая электронную почту, Web-поиск и услуги IP-телефонии. Развитие и сближение технологий различных областей привело в настоящее время к появлению совершенно нового класса изделий IA (*Information Appliances*). Этот класс охватывает все – начиная от телевизоров, телефонов с доступом к Web до наручных часов, фотоаппаратов и т.п. По существу, IA определяют несколько новых видов обработки информации. Все они являются аппаратными средствами с оперативным доступом к сетям. Деление IA на категории, основанные на их главных особенностях, дает возможность лучше понять области применения этих устройств. Сейчас среди IA наиболее распространены телевизоры и телефоны с доступом в Web, персональные информационные системы (PIM– *personal information manager*) и целый класс разнообразных сверх высокотехнологичных устройств доступа в Web, называемых *WebMisc*. Web-телефоны представлены в настоящее время десятком компаний. Это IA, сочетающие функции классических телефонов с доступом в Web и возможностью приема/отправки электронной почты. Благодаря тому, что устройство постоянно включено и подсоединено к телефонной линии, оно непрерывно контролирует поступление сообщений из Internet.

Сближение VoIP и телефонии открывает эру телефонов совершенно нового типа. Продукт Web Video Phone компании Samsung - пример Web-телефонов этого типа. Одно из преимуществ Web-телефонов на основе технологии VoIP заключается в резком снижении платы за разговоры. Второе - передача по Internet речи и изображения. Два и более абонента смогут, используя Web-телефоны второго поколения, обсудить, например, чертеж, в то время, как его изображение и сами собеседники предстанут на экранах. Наибольшие возможности в плане создания мощного мульти-сервисного терминала предоставляет персональный компьютер (ПК). Благодаря модульной структуре расширение его функций сводится к добавлению разнообразных карт и специального программного обеспечения. Помимо использования ПК в качестве мульти-сервисного устройства для получения связанных услуг в различных информационных средах, его можно использовать в качестве мультимедийного терминала, сочетающего текстовую, звуковую и видео информацию в одном сеансе связи.

Движущей силой конвергенции является развитие новых услуг связи. Конвергенция мотивируется желанием иметь однородную инфраструктуру для тех или иных услуг, даже когда эти услуги поддерживаются различными техническими решениями. Эти решения могут быть основаны на телекоммуникационных или компьютерно-информационных технологиях. Важно отметить, что конвергенция услуг приводит также к значительному увеличению возможностей одной отдельно взятой услуги, как это происходит, например, в случае мультимедийных коммуникаций. Естественно, конвергенция услуг всегда

будет предполагать определенный уровень конвергенции в технических системах, обеспечивающих эти услуги.

Другим важным направлением конвергенции является *стирание границ между фиксированными и мобильными сетями*. Здесь речь идет как об интеграции коммутаторов для проводных и мобильных радиосетей (так называемый комбинированный коммутатор, Combi-Switch), так и конвергенции услуг, означающей, что абоненты могут получать услуги при любом доступе в сеть.

В целом эволюция сетей в сторону мультисервисной платформы фактически означает неограниченные возможности расширения спектра предоставляемых пользователям услуг, особенно благодаря активно развивающимся сетевым бизнес-приложениям, таким как, например, электронная коммерция, дистанционная система обучения, сетевые видеоконференции и т.п.

Резюмируя вышесказанное можно констатировать, что конвергенция обеспечила переход к *сетям связи следующего поколения*, которые призваны качественно изменить все сферы жизни и деятельности человека.

1.2. Инфокоммуникационная сеть и ее компоненты

Услуги глобальной информационной инфраструктуры будут предоставляться посредством дистанционного доступа, организуемого на основе инфокоммуникационных сетей (ИКС) с архитектурой сетей следующего поколения NGN (Next Generation Networks), подчеркивая конвергенцию информационных и телекоммуникационных компонентов в формировании новых сетевых услуг на основе мультисервисной платформы.

Идея разработки NGN была предложена в 2001 г. Европейским институтом стандартов электросвязи ETSI (European Telecommunications Standards Institute) и поддержана Сектором стандартизации телекоммуникаций Международного союза электросвязи (МСЭ-Т). Первые две рекомендации МСЭ-Т - Y.2001 и Y.2011 - были утверждены в конце 2004 г. в новой серии Y. 2000, специально выделенной для рекомендаций о NGN. На начало 2011 года в этой серии уже было 70 рекомендаций, которые относятся к так называемой первой версии NGN (NGN release 1). В последнее время в МСЭ-Т начаты работы по второй версии (NGN release 2).

Согласно определению, приведенному в Рекомендации МСЭ-Т Y.2001, сеть следующего поколения NGN – это сеть с **пакетной коммутацией**, способная обеспечить пользователей разнообразными узкополосными и широкополосными услугами, включая услуги телефонной связи, основанная на широкополосной сети с пакетной технологией транспортировки, обеспечивающей необходимое качество услуг QoS (Quality of Service), в которой функции, связанные с предоставлением услуг, не зависят от технологий транспортировки

информации. Сеть NGN дает пользователям неограниченный доступ к различным услугам провайдеров и поддерживает обобщенную мобильность, которая позволяет пользователям получить доступ к услугам в любом месте и в любое время.

В рекомендации МСЭ-Т Y.2012 перечислены основные принципы функциональной архитектуры NGN:

1. *Поддержка множества технологий доступа* – функциональная архитектура NGN должна обладать гибкой конфигурацией, необходимой для поддержки множества технологий доступа.
2. *Распределенное управление* – должен использоваться принцип распределенной обработки в пакетных сетях и поддерживаться прозрачность местоположения для распределенных вычислений.
3. *Открытое управление* – сетевые интерфейсы управления должны быть открыты для поддержки процессов создания новых и изменения существующих услуг и поддержки средств обеспечения логики услуг сторонних поставщиков.
4. *Независимость предоставления услуг* – процесс предоставления услуг должен быть разделен между функциями транспортной сети, работающей с использованием указанного выше механизма распределенного открытого управления. Это приведет к поддержке конкурентного окружения при развитии NGN, которое будет способствовать ускорению процессов внедрения новых услуг.
5. *Поддержка услуг конвергентных сетей* - это необходимо для создания гибких, простых в использовании мультимедийных услуг для замещения технических возможностей конвергентных фиксировано-мобильных сетей с помощью функциональной архитектуры NGN.
6. *Расширенные возможности безопасности и защиты* – это базовый принцип открытой архитектуры, он требует обязательной защиты сетевой инфраструктуры с помощью механизмов обеспечения соответствующих уровней безопасности и живучести сети.

Для реализации этих функций в Рекомендации МСЭ-Т Y.2011 предложена базовая эталонная модель NGN, включающая два уровня: уровень услуг NGN (service stratum) и уровень транспорта NGN (transport stratum), каждый из которых содержит по три плоскости: пользователя, управления и менеджмента (рис. 1.13).

В рекомендациях Международного союза электросвязи (МСЭ/ITU) дано следующее определение Next Generation Network: «NGN — это сеть с коммутацией пакетов, способная предоставлять телекоммуникационные услуги посредством широкополосных транспортных технологий, поддерживающих качество обслуживания (QoS), в которой функции услуг не зависят от используемых транспортных технологий».

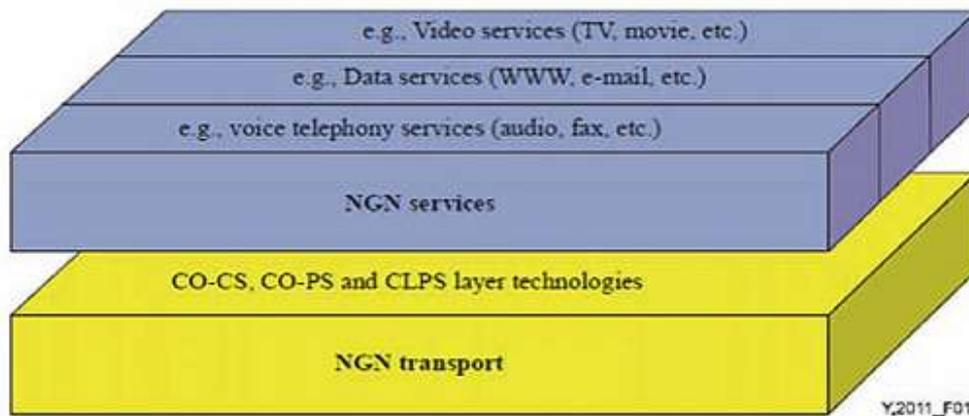


Рис. 1.13. Базовая эталонная модель NGN

Отличительной чертой модели NGN, предлагаемой сектором МСЭ-Т, является её функциональное деление на уровень услуг и транспортный уровень. Последний обеспечивает выполнение функции обмена дискретной информацией любого типа между любыми двумя географически разнѐсенными точками.

Первый уровень реализует прикладные функции, связанные с востребованными услугами, например с организацией передачи речи и видеоизображений по отдельности или в комбинации. В соответствии с рекомендациями МСЭ-Т, NGN должна осуществлять конвергенцию услуг передачи данных, речи, видео-, аудио- и визуальных данных в индивидуальном, групповом и широковещательном режимах.

С целью более простого понимания принципов построения сетей следующего поколения приведем обобщенную 4-х уровневую архитектуру NGN, в которой выделяются следующие уровни (рис. 1.14)



Рис.1.14 - Обобщенная 4-хслойная архитектура NGN

- слой доступа, содержащий сеть абонентского доступа к транспортной пакетной сети;

- транспортный слой, включающий магистральную пакетную сеть, отвечает за гарантированную передачу информации через транспортную сеть с различным уровнем качества. Они обеспечивают механизмы реализации заданного уровня качества передачи QoS для пользовательского трафика включая управление буферами, очередями и расписанием, фильтрацию пакетов, классификацию, маркирование и формирование трафика, контроль соблюдения правил обслуживания, управление шлюзами и функции межсетевых экранов.

- слой управления коммутацией, включает совокупность функций по управлению всеми процессами обслуживания вызовами в телекоммуникационной сети;

- слой услуг и эксплуатационного управления, который содержит логику выполнения услуг и/или приложений и управляет этими услугами, имеет открытые интерфейсы для использования сторонними организациями (для разработки программ и новых услуг).

Терминальное оборудование не входит в состав сети NGN и в принципе может быть любым из набора абонентского оборудования существующих проводных и беспроводных сетей. Однако такое терминальное оборудование может быть включено в сеть NGN только через согласующее шлюзовое абонентское оборудование уровня доступа. Непосредственное подключение к сети возможно только пакетных абонентских терминалов, работающих с использованием протоколов SIP и H.323.

Каждый слой охватывает один или несколько уровней модели OSI, причем каждый уровень концептуально состоит из плоскости данных (или плоскости пользователя), плоскости управления и плоскости менеджмента.

1.3. Интеграция информационного сервиса пользователей. Общая характеристика и особенности инфоуслуг (пользовательских служб)

Все широкополосные пользовательские службы или инфоуслуги в ИКС могут быть разделены на две основные категории (Рек. СС МСЭ I.211): интерактивные службы и службы распределения информации, каждая из которых, в свою очередь, включает несколько классов служб (таблице 1.1.) [14].

Таблица 1.1. - Классификация широкополосных пользовательских служб

Тип информации	Примеры служб	Применение
1	2	3

Диалоговые службы		
Видео изображе	Видео телефония	Соединение типа «точка–точка», обеспечивающее обмен абонентов симметричными информационными потоками, комбинирующими real time аудио и видео параллельно с передачей неподвижных изображений и документов
	Видео конференц связь	Соединение типа «много точек–много точек», обеспечивающее для каждого из участников группы асимметричный обмен (1п) информационными потоками, комбинирующими real time аудио и видео параллельно с передачей неподвижных изображений и документов
	Видео наблюдение	Охрана зданий и помещений с записью и хранением изображения при детектировании нештатной ситуации (например, движения в охраняемой зоне)
	Интерактивное ТВ, VOD, VNOD	Формирование абонентом программ индивидуального вещания цифровых видеопотоков коммерческого качества
Звук и речь	VoIP, VoATM, VoFR, речевой вариант Web и т.п.	Цифровые речевые соединения в сетях пакетной коммутации
	Интерактивное аудиовещание	Формирование абонентом программ индивидуального вещания цифровых аудиопотоков коммерческого качества
Данные	Высокоскоростн ой обмен цифровой информацией	Формирование распределенных корпоративных сетей абонентов на основе объединения их локальных сетей в VPN, on-line переписка ICQ и т.п.
	Передача файлов большого объема	Работа с FTP серверами, контентохранилищами и информационными депозитариями
	Высоко скоростная теле сигнализация и телеконтроль	Системы контроля и управления в реальном масштабе времени. Например, обеспечение работы робота в опасных для человека местах (луноход, робот-подрывник, робот МЧС или экологической службы) или дистанционное ведение боя и т.п.
Документы	Обмен высоко качественными изображениями	Профессиональные живопись, или цифровые фотографии земной поверхности высокого разрешения в радио, инфракрасном и видимом диапазоне для экологических или метеорологических служб планеты; рентгеновские, тепловые или ультразвуковые изображения телемедицины и т.п.
	Обмен документами	Обмен различными гиперсвязанными мультимедийными документами, технической и конструкторской документацией, юридическими или иными материалами
Служба обмена сообщениями		
Мультимеди	Почта	Электронный почтовый ящик аудио, видео,

а контент		графических и текстовых документов
Служба информационного поиска		
	Меднатеки общего пользования	Услуги интерактивного и контекстуального поиска в контентохранилищах мультисервисной сети (например, поиск фонограмм в аудиотеке или видеоматериалов в видеотеке для обеспечения услуг VOD, VNOD и т.п.)
	Информационно-справочные системы	On-line и off-line консалтинг, услуги автоматического и мануального поиска произвольной информации
Распределительные службы, не управляемые пользователем		
Аудио	Радиовещание	Радиоинтернет
Видео	Телевещание	Web TV, IP TV, TV Broadcasting и т. п.
Гиперсвязанные мультимедиа данные	Распределительные службы рассылки документов	Электронные периодические издания, новостные группы, информационное обеспечение тотализаторов и биржевых торгов и т. п.
Распределительные службы, управляемые пользователем		
Гиперсвязанные мультимедиа объекты	Дистанционное обучение, интерактивная дистрибуция информации	Заочное образование, переподготовка корпоративных кадров, Web-серфинг-новости, e-коммерция и т. п.

Экспертные оценки потребности в некоторых видах широкополосных услуг для пользователя делового и домашнего сектора приведены в Таблице 1.2. [15].

Таблица 1.2. - Экспертная оценка потребности в некоторых видах широкополосных услуг

Виды услуг	Потребности пользователей	
	Деловой сектор	Домашний сектор
Диалоговые		
Видеотелефония	+++	+++
Видеоконференцсвязь	++	—
Видеонаблюдение	++	+
Высокоскоростная передача документов (изображений)	++	+
Высокоскоростная ПД		
Дистанционное обучение	+++	—
Работа на дому	—	++
Информационный поиск		
Видеофильмов	+	+++
Документов и изображений	++	—
Пакетов программ	++	—
Компьютерных игр	—	++
Распределительные		
ТВ	+	+++
Широковещательная информация (электронные доски объявлений и др.)	+	+++

К основным особенностям инфоуслуг можно отнести следующие:

- инфоуслуги оказываются на верхних уровнях модели ВОС (в то время как услуги связи предоставляются на третьем, сетевом уровне);
- большинство инфоуслуг предполагает наличие клиентской части и серверной; клиентская часть реализуется в оборудовании пользователя, а серверная – на специальном выделенном узле сети, называемом узлом служб;
- инфоуслуги, как правило, предполагают передачу информации мультимедиа, которая характеризуется высокими скоростями передачи и несимметричностью входящего и исходящего информационных потоков;
- для предоставления инфоуслуг зачастую необходимы сложные многоточечные конфигурации соединений;
- для инфоуслуг характерно разнообразие прикладных протоколов и возможностей по управлению услугами со стороны пользователя;
- для идентификации абонентов инфоуслуги может использоваться дополнительная адресация в рамках данной услуги.

К инфоуслугам предъявляются такие требования как:

- мобильность услуг;
- возможность гибкого и быстрого создания новых услуг;
- гарантированное качество услуг.

В настоящее время для удовлетворения возрастающих потребностей пользователей операторы местной телефонной связи (в т. ч. и в России) уже предлагают услугу "Triple Play Services" (TPS) (голос, видео, передача данных), которую с полным основанием можно назвать универсальной услугой связи XXI века. Технологии Triple Play создают широкий спектр новых услуг связи, востребованных в сегментах частных и корпоративных пользователей. Приведем примеры наиболее популярных предоставляемых и потенциальных услуг.

Услуги передачи данных:

- высокоскоростной доступ в Интернет;
- сетевое резервное копирование (backup);
- сетевые диски (виртуальное дисковое пространство);
- персональные файловые ресурсы в Интернете;
- доступ к игровым серверам.

Голосовые услуги:

- городская и междугородная телефония;
- радиовещание по IP.

Видеоуслуги:

- телевидение по IP (IPTV, HD-IPTV);
- платные видеоканалы PPV (Pay Per View);
- видео по требованию VoD (Video on Demand);
- персональный видеоманитон PVR;
- видеотелефония;
- услуга видеоконференц-связи;

- видеонаблюдение;
- игровые видеоприставки.

Чаще всего услуги Triple Play ассоциируются с сегментом домашних потребителей. Связано это с такими сервисами, как телевидение (IPTV), платные видеоканалы и видеопрокат (VoD). Однако это далеко не все, что востребовано домашними пользователями. Кроме перечисленных видеослужб и широкополосного доступа в Интернет операторы предлагают IP-телефонию (включая МГ- и МН-связь), видеотелефонию, доступ к игровым серверам и цифровым музыкальным архивам, подключение игровых видеоприставок (xbox, PlayStation и т. п.) и цифровых музыкальных центров для прослушивания программ радиовещания через Интернет. Широкополосный доступ открывает также возможности инициирования услуг самими пользователями, например, видеонаблюдение в квартире или в загородном доме. Быстрому формированию этого рынка услуг способствуют производители инженерного оборудования и строительные фирмы, заинтересованные в воплощении в жизнь концепции «умных домов».

Еще одной «критичной нагрузкой» для ИКС, предоставляющих видео, является телевидение высокой четкости (HDTV). Этот стандарт существенно улучшает качество и разрешение видеоизображения, а также звуковое сопровождение (вплоть до DolbyDigital 5.1). HDTV поддерживает формат 16:9 и разрешения 1920x1080 (1080i) и 1280x720 (720p) при развертке до 60 кадров в секунду. При передаче через IPTV для полного потока HDTV требуется полоса 16–20 Мбит/с, что возможно только при Ethernet-подключении.

Вторым целевым сегментом рынка, где востребованы современные сетевые услуги, являются корпоративные заказчики. В отличие от домашних пользователей они в меньшей степени заинтересованы в услугах IPTV. Здесь наиболее востребованы высокоскоростной доступ в Интернет, объединение локальных сетей центрального офиса и филиалов, офисная IP-телефония, голосовые и видеоконференции, распределенные корпоративные центры обработки и хранения данных, MetroEthernet-подключение.

1.4. Характеристики базовых потоков информации в ИКС

1.4.1. Переменная и постоянная составляющие сетевой задержки.

Способы обеспечения изохронности передачи трафика.

В соответствии с рекомендациями серии I.320 информация, циркулирующая в ИКС, делится на три группы: информация пользователя (группа **U**), информация сигнализации (группа **S**) и информация административного управления (группа **M**). Эти три информационные группы являются базой, с помощью которой и осуществляется доступ к широкополосным пользовательским службам или инфоуслугам ИКС. Предоставление разнообразных инфоуслуг в

общем случае сводится к передаче, обработке и хранению элементов (сообщений, пакетов, пакетов) многокомпонентных информационных потоков с заданными количественными (максимальная скорость передачи (Peak rate, PR); средняя скорость передачи (Sustainable rate, SCR); минимальная скорость передачи (Minimum rate, MCR), максимальный размер пульсаций нагрузки (Maximum burst size, MBS) и др.) и качественными параметрами (постоянная составляющая сетевой задержки (transfer delay, TD) и ее дисперсия или переменная составляющая сетевой задержки (delay variation, DV), доля потерянных элементов потока (loss ratio, LR), достоверность передачи и др.) в рамках мультимедийного соединения [16]. Основные характеристики указанных классов трафика приведены в таблице 1.3

Таблица 1.3.- Основные характеристики классов трафика в терминах ATM Forum

Класс трафика	Характеристика
<i>A</i>	Постоянная битовая скорость. С установлением соединения. Требуется изохронность передачи трафика (аудио-, видеоинформация)
<i>B</i>	Переменная битовая скорость. С установлением соединения. Требуется изохронность передачи трафика (уплотненная аудио-, видеоинформация)
<i>C</i>	Переменная битовая скорость. С установлением соединения. Требования к изохронности передачи трафика не предъявляются (неравномерный компьютерный трафик сетей TCP/IP, X.25, frame relay). Требования к достоверности передачи высокие
<i>D</i>	Переменная битовая скорость. Без установления соединения. Требования к качеству передачи трафика не предъявляются (компьютерный трафик UDP, Ethernet, SNMP)

Для унификации и классификации разнородных информационных потоков группы *U* в дальнейшем изложении будем придерживаться терминов ATM Forum, которым было определено четыре основных классов трафика *A*, *B*, *C* и *D* на основе следующих признаков: наличие требования организации постоянной или переменной скорости передачи в сеансе связи; наличие требования к изохронности передачи информации; типом протокола организации передачи информации с установлением соединения или без установления соединения.

Трафик (классов *A* и *B*) характеризуется низким коэффициентом пульсаций, высокой чувствительностью к задержкам передачи, отражающихся на качестве воспроизводимого непрерывного сигнала, и низкой чувствительностью к потерям информационных элементов, требует режима переноса в сессии, при котором необходимо сохранять с заданной точностью временное расположение элементов потока относительно друг друга. ***Свойство сохранять с заданной точностью временное расположение элементов потока относительно друг друга***

в сессии принято называть изохронностью потока. Укажем два основные требования, предъявляемые трафиком классов А и В к своей передаче в сеансе связи:

1) поддержание заданной величины *постоянной составляющей сетевой задержки* (network delay, transit delay или latency) элементов потока, определяющей реальное время их доставки;

2) обеспечение заданной величины *переменной составляющей сетевой задержки* или ее флуктуации (jitter) [17], которая определяет требуемый уровень изохронности потока.

Для поддержания непрерывности передачи в реальном времени, цифрового речевого сигнала значение постоянной составляющей сетевой задержки ячеек от абонента до абонента не должно превышать величины порядка 0,3 – 0,5с [17]. Речь традиционно трактуется как трафик от непрерывного источника, имеющий чередующиеся периоды активности и молчания. В этой связи для повышения использования пропускной способности канала связи при передаче речевой информации необходимо учитывать статистику речевых сигналов. Качество восприятия речи не критично к паузам между словами (группами слов) до 300 мс, а для 10% случаев до 1 с [18]. Время задержки не обязательно должно быть симметричным относительно участвующих в переговорах абонентов. Однако на разборчивость речи значительное влияние оказывает переменная составляющая случайной задержки речевого сигнала при передаче по сети связи. Например, доля речевых пакетов, задержка которых превышает на 50 мс, допустимую, не должна превышать 1% от общего количества переданных пакетов [18]. Требуемый уровень изохронности, который может быть допущен в ИТС с пакетной коммутацией, важен по двум причинам [14]. Во-первых, в таких сетях величина переменной составляющей сетевой задержки должна быть, по крайней мере, меньше, чем величина требуемой изохронности передачи. Выбор указанного ограничения на передачу определяется тем, что, например, для передачи речи в силу психофизиологических особенностей человека она должна заканчиваться ко времени возобновления звучания в пункте назначения вновь прибывших речевых сегментов и полезно знать точность, с которой это возобновление звуковых сегментов должно происходить. Во-вторых, проектируемые пакетные ИТС должны обеспечивать поддержание переменной задержки в заданных границах для различных типов изохронного трафика и эти границы должны быть известны. Например, потеря почти половины речевых фрагментов с незначительной длительностью звучания (около 19мс) снижает разборчивость речи лишь на 20%. При этом для фрагментов с длительностью звучания до 250 мс при удовлетворительном воспроизведении речи вероятность потери не должна превышать 1%.

1.4.2. Основные требования, предъявляемые к передаче различных типов информации.

Приведем основные требования к переносу основных типов трафика в рамках предоставления Triple Play услуги.

1.4.2.1. Цифровая речь

Речь традиционно трактуется как трафик от непрерывного источника, имеющий чередующиеся периоды активности и молчания. Речевая информация обладает смысловой избыточностью и допускает значительный уровень искажений. Основное влияние на качество субъективного восприятия речевых сигналов, прошедших через цифровую систему связи, оказывают следующие два фактора:

- длина речевого сегмента (РС);
- сохранение непрерывности РС.

Под речевым сегментом понимается отрезок речевого сигнала, состоящего из системы активных звуковых фрагментов, чередующихся с паузами, длина которых меньше или равна наперед заданной величине.

Речевой сегмент преобразуется и кодируется в цифровой системе как единое целое, образуя своеобразное речевое «сообщение». Временная дискретизация осуществляется на уровне законченных РС, т. е. на уровне непрерывных смыслоразличительных звуков или фонем. Длина РС не настолько коротка, чтобы содержать только одно слово или слог, но и не настолько длинна, чтобы содержать одну фразу или изречение. Обычно длина РС выбирается таким образом, чтобы при его обработке и транспортировке сохранялась непрерывность звучания звуковых фрагментов на приемном конце линейного цифрового тракта (ЛЦТ). Таким образом, при построении любой сети с интеграцией служб необходимо так спроектировать ее систему доставки информации, чтобы существенно уменьшить воздействие переменной (случайной) составляющей сетевой задержки на качество воспроизведения звуковых сигналов.

Известны два основных подхода к обработке и транспортировке речевых сигналов через цифровую систему передачи:

- 1) способ передачи с промежуточным накоплением (пакетизированная речь) или способ передачи с асинхронным временным уплотнением (АВУ);
- 2) способ передачи с синхронным временным уплотнением (СВУ).

За счет появления случайных сетевых задержек речевых пакетов после их транспортировки по сети нарушается непрерывность звучания на приемном конце. Доля речевых пакетов, задержка которых превышает на 50 мс допустимую, не должна превышать 1% от общего количества переданных пакетов.

Как показывают эксперименты, влияние переменной составляющей сетевой задержки наиболее ощутимо при наличии коротких пауз между словами по сравнению с более длинными паузами между фразами и изречениями. Отсюда следует, что выбор длины РС в

сетях с интеграцией служб, в которых реализован способ передачи информации с промежуточным накоплением, необходимо производить с учетом статистики речевых сигналов [18].

Кроме воздействия переменной (случайной) составляющей сетевой задержки, на качество воспроизведения звуковых сигналов у абонента-получателя также влияет и фиксированная (постоянная) задержка, связанная с проводкой и обработкой речевых пакетов по сети и восстановлением из них РС. Задержка передачи речевого сигнала вызывает два нежелательных явления: «эхо» и «наложение речи». Эффект «эхо» (прослушивание абонентом собственного голоса) возникает при величине задержки распространения звукового сигнала от источника к приемнику и обратно больше 50 мс. Согласно рекомендации Сектора по стандартизации телекоммуникаций Международного союза электросвязи (ITU-T) G.114 «наложение речи» (эффект, при котором речь одного говорящего прослушивается в телефоне другого в тот момент, когда он ведет активный разговор) возникает, когда величина односторонней задержки в канале связи составляет более 150 мс [19].

Таким образом, особенности передачи речевых сигналов вытекают из анализа их свойств, а именно:

- определяет заданную величину изохронности передачи речевого сигнала;
- на разборчивость речи значительное влияние оказывает переменная составляющая случайной задержки речевого сигнала при передаче его по сети связи. Доля речевых пакетов, задержка которых превышает на 50 мс допустимую величину переменной составляющей сетевой задержки, не должна превышать 1% от общего количества переданных пакетов;
- при поддержании изохронности передачи особое внимание должно быть уделено сохранению непрерывности передачи речевого сигнала в реальном времени, т. е. обеспечению постоянной составляющей сетевой задержки. Задержка в передаче сигналов от абонента до абонента не должна превышать величины порядка 300 мс в связи с психофизиологическими особенностями восприятия речевых сигналов человеком;
- вероятность ошибки в канале связи допускается порядка 10^{-2} , так как передача речевых сигналов в цифровой форме, как правило, не нуждается в защите от ошибок. При использовании низкоскоростных РПУ возможна защита помехоустойчивым кодом отдельных фрагментов речевых блоков в режиме исправления ошибок;
- сравнительно редкие вставки и/или выпадения фрагментов речевых сигналов слабо влияют на качество воспроизведения речи. В зависимости от избыточности цифрового сигнала на выходе речепреобразующих устройств (РПУ) и длительности речевых сегментов (от 250 до 16 мс),

допустимый уровень потерь составляет от 1 до 50% времени активности абонента;

- для повышения использования пропускной способности канала связи при передаче речевой информации необходимо учитывать статистику речевых сигналов, так как доля пауз в телефонном разговоре составляет в среднем 56% в сеансе связи, при этом суммарная продолжительность кратких перерывов в слитной речи длительностью от 5 до 200 мс как внутри слов, так и между словами, занимает около 15%;

- для речевого канала требуется постоянная полоса пропускания шириной от 5,3 Кбит/с до 64 Кбит/с в зависимости от применяемых методов кодирования речевого сигнала для устранения его избыточности.

1.4.2.2. Видеоинформация

Видеоинформация состоит из последовательности неподвижных изображений (кадров), которые воспроизводятся с частотой 25-30 кадр/с. При передаче каждый кадр интерпретируется как объединение некоторого числа фиксированных точек (пикселей) с определенной яркостью и цветом.

При этом величина постоянной составляющей сетевой задержки пакетов для видеоинформации может варьироваться в широком диапазоне: в то время как низкоскоростная 64Кбит/с видеоконференция может допускать величину транзитной задержки порядка 300мс, - высокоскоростная видеоконференция 1,5Мбит/с требует гарантии запаздывания не более 5мс, а для видео HDTV должна быть гарантирована величина равная 1мс. Для потока MPEG-2 указанная величина задержки не должна превышать 4мс (ограниченную 150мкс на коммутатор) [16].

Для качественного восприятия плавности движущегося изображения, которое определяется количеством отличающихся изображений в секунду (не менее 25 кадров/с), величина переменной составляющей их сетевой задержки также должна быть, по крайней мере, меньше, чем величина требуемой изохронности передачи. В то время как мерцание зависит только от частоты перерисовки экрана на приеме и может обеспечиваться высокой скоростью сканирования изображений, находящихся в памяти приемника цифрового видео (монитора) самим приемником, например, с частотой 75 и более кадров/с (задержка появления/исчезновения видеоизображений должна заканчиваться до его угасания на сетчатке, где оно остается несколько миллисекунд).

Конкретная скорость передачи зависит от разрешения (числа пикселей в кадре), частоты кадров (числа кадров в секунду), количества информации для представления каждого пикселя (бит на пиксель) и в зависимости от требуемого качества изображения может изменяться в широких пределах: от единиц до сотен мегабит в секунду. Например, для производственных условий, где изображения должны передаваться в

реальном времени с постоянной скоростью, для достижения высокого качества видеосигнала, может потребоваться скорость передачи до 1,8 Гбит/с. Указанная пропускная способность необходима также для цифрового кино. Как и речевая информация, видеoinформация также обладает довольно большой избыточностью и при ее передаче могут также применяться различные методы сжатия. В этом случае передача сигнала осуществляется с переменной скоростью, хотя отдельные видеокадры генерируются с постоянной скоростью, т. е. объем данных для представления каждого кадра различен. Выбор стандарта сжатия (например, MPEG, M-JPEG, H.261) определяет степень сжатия видеoinформации и соответственно качество передаваемого сигнала, а также необходимую полосу пропускания, например, 4-5 Мбит/с (MPEG-2) или 15-21 Мбит/с в случае применения стандарта M-JPEG. Технология MPEG-2 при практически незаметном ухудшении качества позволяет уменьшить скорость оцифрованного несжатого видео с 270Мбит/с до 16 Мбит/с для видео студийного уровня и до 4-5 Мбит/с для видео общего пользования. Стандарт M-JPEG требует полосы 15-21 Мбит/с. Ширина полосы пропускания для передачи компьютерной анимации может варьироваться в широких пределах: от 14,4 кбит/с для анимации на странице Web со сменой кадра в три секунды до потока в несколько Гбит/с.

Существуют два основных типа видеоприложений: интерактивное видео (например, видеоконференции) и потоковое видео (IPTV, которое может использовать как одно-, так и многоадресную рассылку). На основании проведенного анализа рекомендаций МСЭ-Т и IETF обобщим основные требования к характеристикам QoS при реализации передачи видеоданных.

Требования для трафика интерактивного видео

Для интерактивного видео (видеоконференций) к характеристикам QoS предъявляются следующие требования:

- интерактивный видеотрафик (в соответствии с «Базовыми основами QoS») должен быть промаркирован AF41;
- потери – не более 1%;
- однонаправленная задержка – не более 150 мс;
- флуктуация задержки – не более 30 мс;
- минимально-гарантированная полоса пропускания (LLQ) должна быть равна размеру сессии видеоконференции плюс 20%. Например, сессия видеоконференции в 384 кбит/с требует настройки 460 кбит/с полосы трафика гарантированного приоритета.

Так как видеоконференция включает аудиокодек G.711 для речи, то она имеет и соответствующие голосовому трафику требования к потерям, задержке и колебаниям задержки. Однако трафик видеоконференции радикально отличается от трафика голоса.

Требования для трафика потокового видео

Потоковый трафик порождают услуги «видео и аудио по запросу» и Web-вещание. Режим *предоставления аудио- или видеоданных по запросу* предполагает непрерывный доступ к уже готовым файлам мультимедиа на потоковых серверах, которые перед воспроизведением на приеме буферируются на плеере пользователя. Режим непосредственной трансляции медиапотока на заданную аудиторию с Web-камеры и микрофона называется Web-вещанием или технологией Webcast. Наиболее часто применяемый режим потокового мультимедиа — это передача одноадресного потока. Групповое вещание — альтернативный режим вещания, при котором один медиапоток обеспечивает информацией одновременно многих пользователей данной услуги и требует значительно меньшей полосы пропускания, чем адресное.

Потоковый трафик предъявляет высокие требования к потерям, флуктуации задержки и менее чувствителен к постоянной составляющей задержки. Для потокового видео к характеристикам QoS предъявляются следующие требования:

- потоковое видео (одноадресной или многоадресной рассылки) в соответствии с «Базовыми основами QoS» должно быть промаркировано CS4;
- потери – менее 2 %;
- постоянная составляющая сетевой задержки – менее 4-5 с (в зависимости от возможности буферизации видеоприложений);
- отсутствие значительных требований к флуктуации задержки;
- требования по гарантиям полосы (CBWFO) должны зависеть от формата кодирования скорости видеопотока;
- потоковое видео обычно однонаправленное и поэтому в удаленных филиалах маршрутизаторы можно не настраивать на поддержку потокового видео в направлении от филиала к центру;
- «неважные» приложения потокового видео, такие как видео для развлечения, могут быть промаркированы DSCP CS1 и для них необходим минимум гарантий полосы пропускания в очереди CBWFO (с использованием класса Интернет/scavenger).

Для мониторинга качества при передаче видеопотоков вводится новая метрика – QoE (Quality of Experience). Для IPTV QoE определяется в проекте рекомендации G.IPTV – QoE. Метрика QoE используется не только для IPTV, но и для, например, аудиоинформации. Метрика QoE регламентируется в рекомендации P10/G100 и в соответствии с этой рекомендацией определяется как глобальная приемлемость приложений или услуг, субъективно воспринимаемая конечным пользователем. При этом отмечается, что экспериментальное качество включает в себя предоставляемое качество всеми элементами, участвующими в предоставлении и получении услуг из конца в конец, - терминалами, сетями, инфраструктурой услуг и т.д., а также качество восприятия услуг

клиентом. Кроме того, глобальная приемлемость может зависеть от конкретно предоставляемого контента и расположения пользователя к услуге.

1.4.2.3. Асинхронный трафик (класс C)

Асинхронный трафик, в отличие от изохронного, допускает сравнительно большие вариации постоянной задержки (определяемые прикладными применениями) и не критичен к поддержанию изохронности при передаче по каналам связи. Однако предъявляет достаточно жесткие требования к достоверности передачи (порядка 10^{-5} – 10^{-7} на бит) и к сохранности информации (вероятность засылки не по адресу порядка 10^{-6} на пакет), так как утраченные данные восстанавливаются за счет повторной передачи. Пользователям чаще всего требуется независимый темп передачи и приема данных, многорежимный обмен (интерактивный обмен данными, передача файлов), обеспечение конфиденциальности. Не допускаются вставки и/или потери отдельных элементов потока данных. Очень важным требованием во многих применениях является сохранение порядка следования данных. Интенсивность посылки пакетов асинхронного трафика в сеть и их размер могут изменяться в широких пределах, например, коэффициент пульсаций трафика (отношения максимальной мгновенной интенсивности трафика к его средней интенсивности) протоколов без установления соединений может достигать до 200, а протоколов с установлением соединений – до 20. Требования к ширине полосы пропускания асинхронного трафика лежат в широких диапазонах: от десятков кбит/с для низкоскоростных интерактивных приложений до сотен Мбит/с для приложений, ориентированных на работу с графическими данными.

В таблице 1.4. показаны допустимые значения потери пакетов для различных информационных потоков [20].

Таблица 1.4. - Допустимые значения вероятности потери пакетов

Трафик	Формат	Допустимые значения
Речь обычного качества	МККТТ G.711. ИКМ (64 кбит/с)	$<10^{-3}$
Речь высокого качества	МККТТ G.727. Полосная АДИКМ (64 кбит/с)	$<10^{-5}$
Телевидение обычного качества	Сжатие сигналов (средняя скорость 10 Мбит/с)	$<10^{-9}$
Телевидение высокой четкости	Сжатие сигналов (средняя скорость 100 Мбит/с)	$<10^{-10}$
Передача данных	HDLC (от 64 кбит/с до 100 Мбит/с)	$<10^{-6}$

1.4.2.4. Мультимедиа

Требования, накладываемые на ИТС сводятся к двум аспектам: требования к качеству передачи трафика и функциональные требования:

организация мультикастинга; безопасность (аутентификация, целостность, конфиденциальность); управление сессиями (описание типа мультимедиа, оповещение о сессии, идентификация сессии, синхронизация мультимедиа) и др. При этом требования к передаче мультимедиа-объектов определяются комбинацией различных видов трафика, передаваемых по сети. Кроме того, при передаче мультимедийного потока для устранения смещения (skew) по времени может потребоваться межпоточная синхронизация изохронных потоков, так как, например, для обеспечения синхронизации речи с движением губ на приеме skew между аудио- и видеоинформацией не должно превышать 120мс [18]. Проблема межпоточной синхронизации является одной из составных частей проблемы обеспечения QoS-норм переноса приложений мультимедиа. При этом процедуры механизмов защиты информации, например, аутентификации и авторизации пользователей ИКС необходимо включить в интерактивные сценарии их взаимодействия с контентом Web-, видео- или аудио- приложений в процессе установления соединения, о чем речь пойдет ниже. Противоречивость требований к качеству передачи информации обуславливает необходимость создание ИКС с таким набором сетевых служб, чтобы обеспечить возможность доставки всего пакета инфоуслуг с заданным сквозным качеством QoS на базе единой сетевой инфраструктуры со специальными комбинированными процедурами обслуживания и дообслуживания очередей. При этом процедуры механизмов защиты информации, например, аутентификации и авторизации пользователей ИТКС необходимо включить в интерактивные сценарии их взаимодействия с контентом Web-, видео- или аудио- приложений в процессе установления соединения, о чем речь пойдет ниже. Противоречивость требований к качеству передачи информации обуславливает необходимость создание ИКС с таким набором сетевых служб, чтобы обеспечить возможность доставки всего пакета инфоуслуг с заданным сквозным качеством QoS на базе единой сетевой инфраструктуры со специальными комбинированными процедурами обслуживания и дообслуживания очередей.

1.5. Мультисервисная сеть связи как область взаимодействия ИКС

Область взаимодействия инфокоммуникационной сети NGN в терминах модели взаимодействия открытых систем образует ее цифровая телекоммуникационная **мультисервисная сеть связи (МСС)**, в состав которой входят абоненты мультисервисной сети, широкополосные сети доступа и транспортный слой или уровень.

Структура МСС показана на рисунке 1.15.

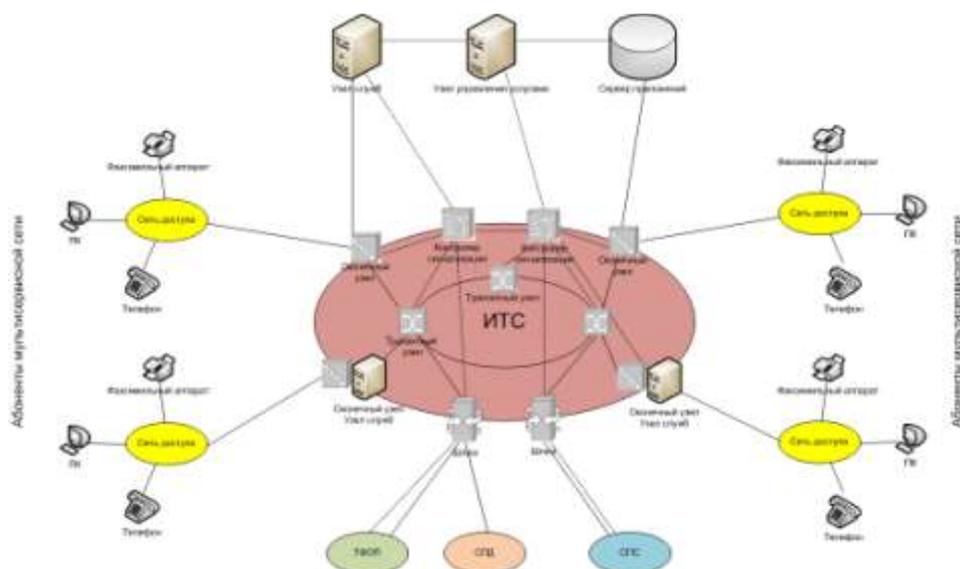


Рисунок 1.15 – Структура инфокоммуникационной сети NGN

МСС – это сеть связи, построенная в соответствии с концепцией NGN и обеспечивающая предоставление **мультимедиа**. Мультимедиа означает интеграцию нескольких информационных типов сообщений, таких как текст, изображения, графика, анимация и многое другое. Создание мультимедиа стало главным направлением в развитии информационных технологий последнего десятилетия и привело не только к появлению новых технологий, но и возникновению новых сервисов.

Основные сетевые характеристики интегрального обслуживания трафика различной природы в МСС обеспечивает ее пакетное коммуникационное мультипротокольное ядро или пакетная мультипротокольная **инфотелекоммуникационная транспортная система (ИТС)** [14], которая реализует услуги переноса (bearer service) мультимедийной информации между сетевыми окончаниями (Network Terminator, NT) без какого-либо анализа или обработки ее содержания с учетом заданного качества обслуживания QoS. ИТС обеспечивает перенос разных видов информации с использованием различных протоколов передачи. Услуги переноса (доставки) информации характеризуются:

- типами соединений (Connection Type, CT);
- классом качества услуги (Class of Service, CoS);
- параметрами трафика (Traffic Parameters, TP).

ИТС по сути является транспортным слоем ИТС NGN.

Доступ к ресурсам мультисервисной сети осуществляется через граничные узлы, к которым подключается оборудование сети доступа или осуществляется связь с существующими сетями. В последнем случае граничный узел выполняет функции межсетевого шлюза. Под сетью доступа подразумевается системно-сетевая структура, состоящая из

абонентских линий, узлов доступа и систем передачи. Она служит для организации подключения пользователей к ресурсам региональных сетей. Услуги, предоставляемые сетью доступа, можно различать по способам доставки информации, качеству услуги (QoS) и скорости передачи.

В рамках концепции Взаимоуязвимой сети связи (ВСС) Российской Федерации [2] национальная мультисервисная сеть будет базироваться на двухуровневой архитектуре (рис. 1.16).

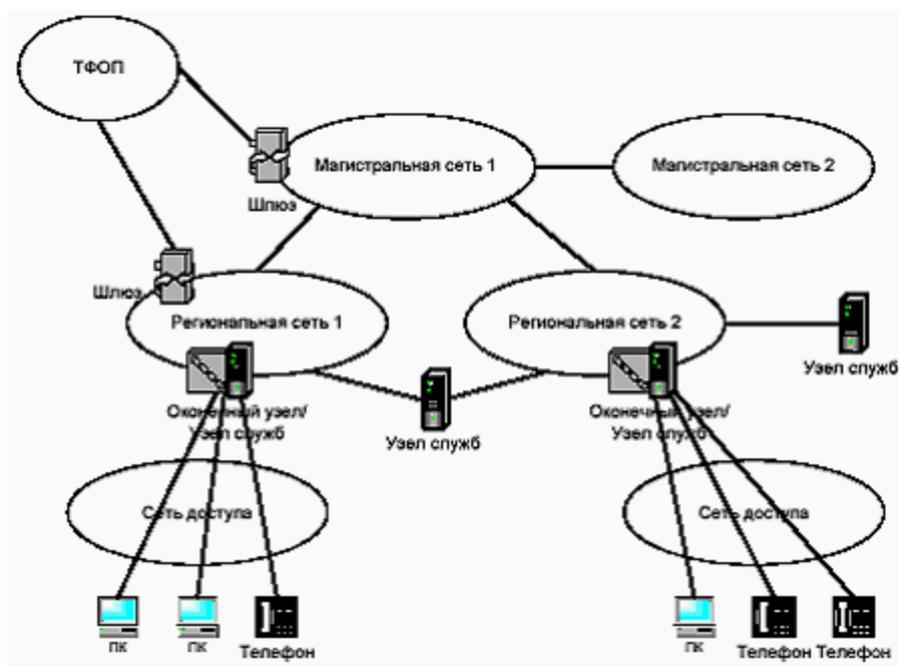


Рис. 1.16. Двухуровневая архитектура мультисервисной сети связи

На региональном уровне мультисервисная сеть должна обеспечивать подключение абонентов и предоставление им как транспортных, так и инфокоммуникационных и других услуг, а также обеспечивать возможность взаимодействия с аналогичными услугами других региональных сетей.

На магистральном уровне мультисервисная сеть должна обеспечивать предоставление услуг переноса для взаимодействия мультисервисных региональных сетей, а также для передачи (при необходимости) нагрузки всех существующих сетей. Конечными целями построения национальной ВСС являются [2]:

- обеспечение широкого спектра инфоуслуг с возможностью доступа к глобальным информационным ресурсам;
- организация широкополосного абонентского доступа;
- предоставление мультимедийного транспортного сервиса единым образом в общей широкополосной физической среде с требуемым качеством обслуживания QoS;
- повышение эффективности использования сетевых ресурсов на коллективной основе;

- обеспечение широкого диапазона гибкости и многофункциональности терминальных мультимедийных соединений;
- объединение и автоматизация эксплуатационно-технического обслуживания и административного управления системой в целом;
- обеспечение услуг безопасности в процессе хранения, обработки и передачи информации.

Таким образом, потребности информационного общества ставят на повестку дня необходимость решения следующих научных и технических проблем:

- создание региональных и магистральных компонент МСС;
- обеспечение широкополосного цифрового абонентского доступа к инфоуслугам сети на базе набора стандартных широкополосных интерфейсов;
- создание универсальных мультисервисных терминалов с возможностью автоматического выбора конкретного пользовательского сервиса из предлагаемого списка;
- обеспечение защиты мультимедийной информации при ее передаче, обработке и хранении.

В нашей стране создание МСС находится на стадии разработки концепций, планирования и проработки вариантов построения [2]. Поэтому важно наличие моделей, методов и алгоритмов анализа сетей указанного класса, на базе которых возможно строить инженерные методики их проектирования. При этом желательно, чтобы эти методики учитывали специфику функционирования ИТС, режимы коммутации и переноса мультимедийного трафика, многообразие сетевых параметров, основные протоколы транспортной архитектуры, а также позволяли оценивать влияния механизмов защиты на их характеристики и ресурсы.

Анализ пакетных технологий, рекомендованных для построения национальных ИКС нового поколения, позволяет сформулировать базовые принципы построения сетей указанного класса.

Принцип QoS-маршрутизации, предполагающий наличие механизмов установления мультимедийного соединения с заданными количественными и качественными параметрами. QoS-маршрутизация обеспечивает: а) формирование и трансляцию сигнального запроса на установление мультимедийных соединений; б) управление процессом резервирования требуемых сетевых ресурсов для мультимедийных соединений на транзитных узлах устанавливаемого маршрута или граничных узлах домена; в) формирование мультимедийных соединений требуемой потоковой структуры в рамках единой транспортной услуги с фиксацией маршрута передачи информации любой природы.

Принцип масштабируемости сетевых ресурсов, предписывающий наличие механизмов контроля допустимости резервирования требуемых сетевых ресурсов на фазе установления мультимедийной сессии, которые обеспечивают резервирование необходимых сетевых ресурсов или

предоставление приложению заранее определенного уровня сервиса CoS, а также формирование маршрутных или коммутационных таблиц.

Принцип «совмещения» разнородного трафика, предписывающий наличие механизмов параметризации («окраски») многокомпонентных информационных потоков с целью их переноса в сессии единым образом в общей физической среде с требуемым качеством обслуживания в рамках единой транспортной услуги.

1.6. Функционально-структурная организация инфотелекоммуникационных транспортных систем на технологиях ATM и IP-QoS

Можно утверждать, что широкополосные высокоскоростные МСС будущего и будут строиться на базе пакетной коммутации. Это связано с более экономичным использованием сетевых ресурсов.

В России для построения региональных (зоновых) компонентов национальной МСС рекомендованы две базовые пакетные технологии IP-QoS (технология интегральных услуг с резервированием ресурсов (Integrated Services, IntServ), технология дифференциальных услуг (Differentiated Services, DiffServ) в сочетании с технологией многопротокольной коммутации по метке (Multi-Protocol Label Switching, MPLS)) и технология ATM – для построения ее магистральной компоненты. Технология ATM была рекомендована также для внедрения мультимедийных услуг в нашей стране и Постановлением Минсвязи России № 176 от 29 января 1997г.

1.6.1. Специфика функционально-структурной организации инфотелекоммуникационных транспортных IP-QoS-систем

Основным сдерживающим фактором создания ИКС на технологии IP является проблема обеспечения QoS-норм для трафика различной природы (особенно для изохронных приложений реального времени). Необходимость арбитража и адаптивного перераспределения сетевых ресурсов потребовала привнесения в телекоммуникационную инфраструктуру интеллекта на базе критериев QoS. Для решения этой проблемы группой IETF на базе протокола IP были предложены две модернизированные технологии: технология интегральных услуг с резервированием ресурсов по протоколу RSVP (Integrated Services/RSVP, IntServ) и технология дифференциальных услуг с предварительной организацией соглашения об уровне сервиса SLA (Differentiated Services/SLA, DiffServ).

Технология IntServ [RFC1633] реализует абсолютный механизм QoS и резервирует для каждого соединения сетевые ресурсы от приемника в симплексном режиме. Для явного задания уровня QoS предполагает

наличие в маршрутизаторах сети четырех основных компонентов: программы–демона RSVP [RFC2205], механизмов контроля допустимостью соединения (Connection Admission Control, CAC), а также классификатора пакетов (Packet Classifier) и планировщика пакетов (Packet Scheduler).

Функцию «управление резервированием сетевых ресурсов» в IntServ реализует сигнальный протокол RSVP. Сигнальный протокол RSVP работает поверх IPv4 или IPv6. Сообщения RSVP посылаются от узла к узлу между RSVP-маршрутизаторами, поддерживающими этот протокол, в виде IP-дейтограмм с кодом протокола 46. Запрос резервирования инициирует формирование мультимедийной сессии с заданными параметрами и включает в себя набор опций, которые в совокупности называются стилем. RSVP обеспечивает несколько моделей резервирования (стилей), для того чтобы удовлетворить требованиям различных мультимедийных приложений. Они определяют способ резервирования различными отправителями в пределах одной сессии и контроль выбора отправителей. В настоящее время определены следующие стили: WF (Wildcard-Filter), FF (Fixed-Filter) и SE (Shared Explicit). Структура и формат полей заголовка RSVP, а также правила, которые специфицируют структуру дескриптора потока для каждого из стилей резервирования, приведены в приложении А. Обобщая, можно сказать, что RSVP имеет следующие атрибуты:

- RSVP выполняет резервирование для уникастных и мультикастных приложений, динамически адаптируясь к изменениям членства в группе вдоль маршрута. Для уникастных приложений требуемое QoS будет получено с помощью диспетчера пакетов в драйвере уровня звена данных. При групповом резервировании учитывается тот факт, что в точках слияния дерева доставки несколько потоков, для которых производится резервирование, сливаются в один, так что подтверждающее сообщение передает маршрутизатор, находящийся в точке их слияния.

- RSVP является симплексным протоколом, т. е., он выполняет резервирование для однонаправленного потока данных. RSVP ориентирован на получателя, т. е., получатель данных инициирует и поддерживает резервирование ресурсов для потока. RSVP поддерживает динамическое членство в группе и автоматически адаптируется к изменениям маршрутов.

- RSVP не является маршрутным протоколом, но зависит от существующих и будущих маршрутных протоколов.

- RSVP транспортирует и поддерживает параметры управления трафиком и политикой, которые остаются непрозрачными для RSVP.

- RSVP обеспечивает несколько моделей резервирования или стилей, для того чтобы удовлетворить требованиям различных приложений.

- RSVP обеспечивает прозрачность операций для маршрутизаторов, которые его не поддерживают.

- RSVP может работать с IPv4 и IPv6.

Функциональная структура маршрутизатора и оконечной системы сети IntServ показана на рис.1.17.

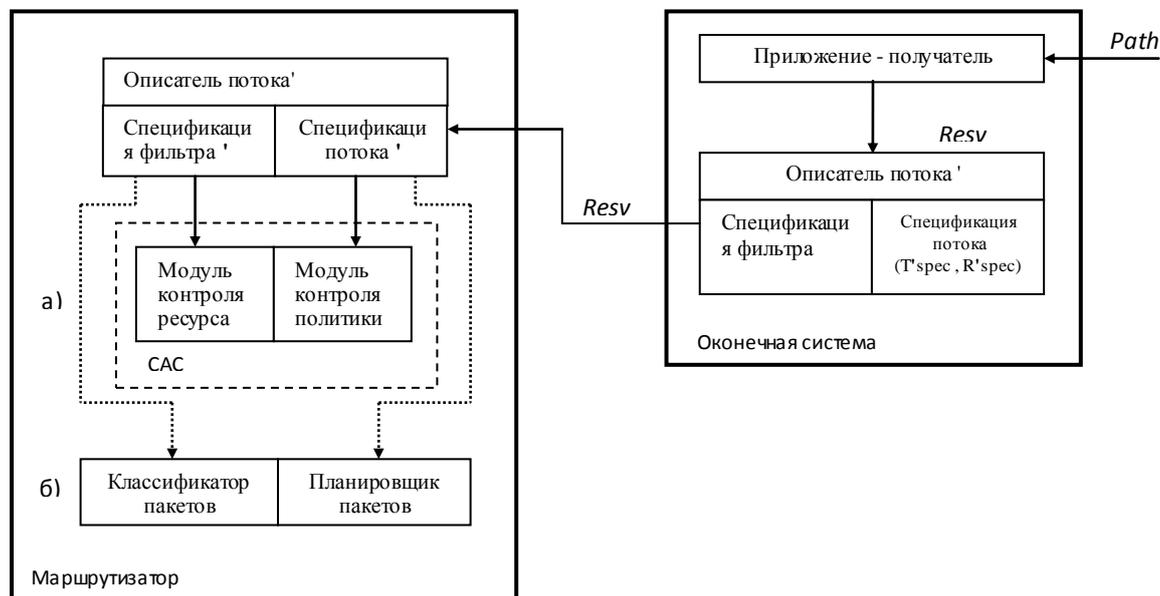


Рис. 1.17. Функциональная структура маршрутизатора и оконечной системы сети IntServ

При получении сигнального запроса *Path* получатель отправляет соответствующее подтверждение источнику в виде сообщения «резервирование» *Resv* по проложенному им маршруту, которое сообщает транзитным маршрутизаторам параметры для резервирования сетевых ресурсов, принимаемые приемником в сеансе связи с источником. Эти параметры содержатся в дескрипторе потока TD (Traffic Descriptor). В процессе резервирования сетевых ресурсов используется оперативная информация о каждом потоке, которая содержится в дескрипторе потока, включающего спецификации фильтра *filter spec* и потока *flowspec*. В технологии IntServ функция SAC реализуется в маршрутизаторах посредством двух модулей: модуля «контроль доступа» и административного модуля «управление политикой». Если запрос поддержан, то в каждом маршрутизаторе резервируются буферное пространство и полоса пропускания, а в классификаторе и планировщике пакетов, в соответствии с запросом параметров QoS, осуществляется параметризация потока в целях его классификации и управления в сессии. Механизм обеспечения QoS включает в себя классификацию пакетов, административный контроль и диспетчеризацию.

В технологии IntServ дополнительно к услуге «наилучшей попытки» BE реализованы две услуги: контролируемой загрузки (Controlled Load Service, CLS) и гарантированной доставки (Guaranteed Service, GS).

Услуга контролируемой загрузки CLS [RFC2211] в загруженной сети обеспечивает качество передачи выше, чем может предоставить услуга «наилучшая попытка» BE, однако какие-либо гарантии по переносу трафика при этом также не предоставляются. Пакеты получают максимум из возможного в загруженной сети, но без жестких гарантий QoS. Один из возможных подходов реализации услуги CLS – это реализация отдельной приоритетной буферизации пакетов различных услуг. Один из возможных подходов реализации услуги контролируемой загрузки CLS в реальном оборудовании IntServ заключается в реализации отдельной приоритетной буферизации пакетов различных услуг является использование алгоритмов PQ. *Услуга гарантированной доставки GS [RFC2212]* предоставляет гарантии только по полосе пропускания и максимальной задержке пакетов «из конца – в конец» сети. Под гарантиями по полосе пропускания подразумевается, – что при соблюдении потоком продекларированных параметров не произойдет потерь пакетов в очередях, а под гарантиями по задержке, – что максимальная задержка «из конца–в конец» не превысит заранее определенной верхней границы. Для реализации услуги гарантированной доставки GS используют алгоритм WFQ. Таким образом, несмотря на расширение набора функций гарантии по дисперсии задержки пакетов в сети технология IntServ не обеспечивает. Кроме того, архитектура IntServ плохо масштабируема: увеличение числа обслуживаемых соединений ведет к снижению производительности маршрутизаторов. Это предопределило разработку более простого протокола DiffServ, лишенного указанных выше недостатков.

В технологии DiffServ [RFC2475] реализован релевантный (относительный или сравнительный) механизм QoS, позволяющий выделять для агрегированных потоков с близкими требованиями к QoS-нормам ограниченный набор классов сервиса (CoS), которые делят сетевые ресурсы между собой в соответствии с назначенным им приоритетом. Технология DiffServ [RFC2475] ориентирована на источник, ответственный за QoS. Высокие масштабируемость и гибкость DiffServ достигаются за счет структурирования потоков с соответствующими приоритетами в несколько агрегированных по уровню сервиса классов CoS.

В сети DiffServ функции организации мультимедийного соединения и *управления резервированием сетевых ресурсов* реализуется либо сигнальным протоколом RSVP+ [RFC3209], либо непосредственно провайдером услуг в процессе заключения с пользователем «трафик-контракта» (Service Level Agreement, SLA) [RFC2475] на поставку определенного класса сервиса обслуживания CoS. Расширение RSVP предполагает некоторое видоизменение стандартной процедуры обработки сообщений RSVP на маршрутизаторах, в частности контроля допуска к агрегированным классам CoS и поддержку агрегированного и

туннелируемого RSVP. В технологии DiffServ используется модифицированный протокол RSVP (RSVP+), в котором расширены функции, отвечающие за резервирование ресурсов для агрегированного потока. Определены конкретные типы резервирования ресурсов:

- индивидуальное резервирование (distinct reservation);
- долевое резервирование (shared reservation)
- резервирование полосы для группы пользователей (wildcard filter type reservations),
- долевое явное резервирование (shared explicit type reservation).

Технология DiffServ исключает необходимость учета состояния потока и индивидуальной обработки каждого из них. Предназначенный для использования с DiffServ протокол RSVP+ позволяет приложению идентифицировать себя в сеансе связи и получить соответствующее его приоритету обслуживание. Это расширение RSVP предполагает, в частности, контроль допуска к агрегированным классам DiffServ и поддержку агрегированного и туннелируемого RSVP.

В отличие от RSVP, протокол RSVP+ ориентирован на источник, ответственный за QoS. При установлении соединения RSVP+ при «окраске» потока дополнительно определяет механизмы, которые могут быть задействованы для реализации конкретных услуг в сеансе связи, например, Premium Service, Assured Service и т. д.

Функция *контроля допустимости установления соединений* фактически реализуется путем соответствующих настроек в базе данных граничного маршрутизатора. Резервирование ресурсов и параметризация услуги осуществляется в соответствии с заявленным CoS. Структура граничного маршрутизатора домена DiffServ показана на рис. 1.18.

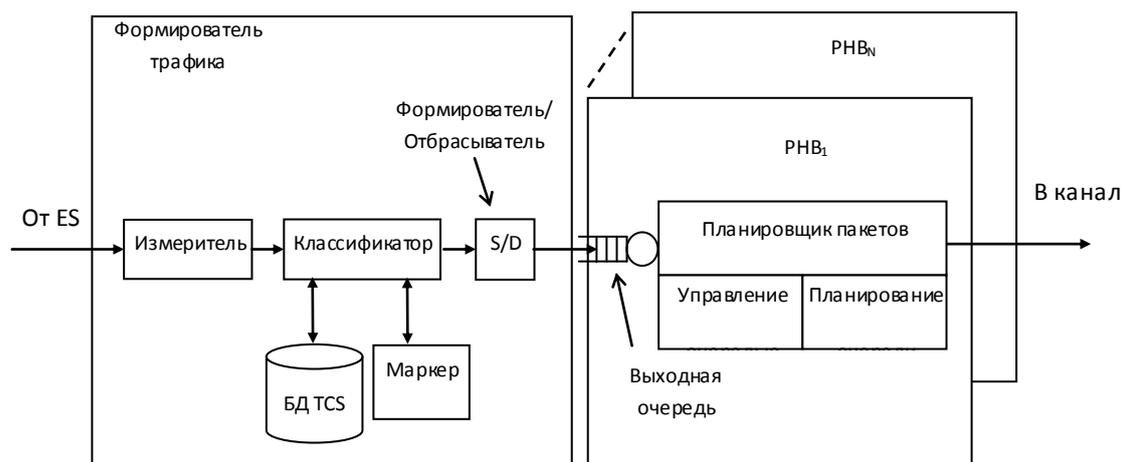


Рис. 1.18. Структура граничного маршрутизатора домена DiffServ

Концепция обслуживания CoS в сессии здесь обеспечивается тремя механизмами: классификатором пакетов, формирователем трафика ТС и

механизмом пошаговой маршрутизации PNH. В сессии для каждого соединения осуществляется проверка на соответствие поступающего трафика заявленным параметрам. Эти функции реализованы в формирователе трафика TC, в состав которого входят: маркер (Marker) – формирует код DSCP; классификатор (Classifier) – сортирует пакеты от различных приложений и передает их механизмам управления очередями и планирования; измеритель (Meter), используемый для контроля политики доступа, и формирователь/отбрасыватель (Shaper/Dropper), служащий для формирования профиля входного трафика. Правила работы классификатора описаны в TCS. В соответствии с классом обслуживания CoS функцией маркировки TC пакетам каждого агрегированного потока ставится в соответствие класс пошаговой маршрутизации PNH [RFC2475].

Режим PNH можно рассматривать как совокупность параметров, в соответствии с которыми маршрутизатор устанавливает порядок направления пакетов на интерфейс вывода. Множество пакетов с одинаковым типом PNH называется «общее агрегированное поведение» (foo traffic aggregate, FTA). Внутренние маршрутизаторы домена DiffServ осуществляют лишь перенаправление пакетов по выбранному алгоритму PNH.

В технологии DiffServ реализованы два класса дополнительных услуг: «срочная доставка» EF и «уверенная доставка» AF.

Услуга срочной доставки EF [RFC 2598] (далее PNH EF) предоставляет пользователю гарантии по полосе пропускания и сквозной сетевой задержке для пакетов, аналогичные услуге гарантированной доставки GS в IntServ. Рекомендованное значение поля DS – 101110. При этом требования к вероятности потери пакета, значениям задержки и ее дисперсии, необходимой полосе пропускания и т. д. гарантируются только в рамках домена DiffServ, на узлах которого предоставляется класс услуг PNH EF. Эта услуга может быть востребована для услуги «Premium Service», являющейся аналогом услуги «виртуальная арендованная линия». Услуга срочной доставки PNH EF предоставляет пользователю гарантии по полосе пропускания и сквозной сетевой задержке для пакетов аналогично услуге гарантированной доставки GS в IntServ.

Услуга уверенной доставки AF [RFC 2597] (далее PNH AF) поддерживает уровень качества обслуживания более низкий, чем класс срочной доставки PNH EF, но более высокий, чем обслуживание с BE. Таким образом, услуга PNH AF гарантирует, что высокоприоритетные потоки получают лучшее обслуживание, чем низкоприоритетные. При этом его сквозная задержка в сети может оказаться значительной. Услуга PNH AF позволяет реализовать четыре класса CoS с тремя уровнями приоритета пакета для каждого из них. В маршрутизаторах каждый класс представлен своей очередью. Услуга AF может быть реализована с

использованием таких механизмов, как WFQ в сочетании с взвешенным ранним обнаружением переполнений WRED. Механизм WFQ для каждой очереди назначает вес (приоритет), который определяет, каким образом очереди распределяют полосу пропускания.

Для гарантии качества услуг приложений, использующих информационные потоки реального времени, наиболее важными являются механизмы, реализующие абсолютную схему QoS. Абсолютная схема качества обслуживания QoS в IP-сетях на технологии DiffServ может быть обеспечена двумя современными концепциями, не связанными с природой IP: протокол многопротокольной коммутации по метке **MPLS** и протокол **RSVP+**.

1.6.2. Специфика функционально-структурной организации инфотелекоммуникационных транспортных ATM-систем

Технология асинхронного режима переноса информации ATM несмотря на сложность реализации и управления на сегодня является единственной технологией, гарантирующей обеспечение заданных QoS-норм передачи для любого класса трафика и их сочетаний с явным предоставлением «жесткого качества услуг». Технология ATM ориентирована на установление соединений от источника и основана на упрощенных протоколах коммутации и передачи. Концепция «жесткого качества услуг» в сети ATM обеспечивается несколькими механизмами: спецификацией PNNI1.1; алгоритмом общего контроля за установлением соединения GCAC; механизмами контроля допустимости соединения SAC и управления трафиком в сессии.

Отличительной чертой сети ATM является организация виртуальных путей VP, которые существуют постоянно и объединяют виртуальные каналы VC, имеющие общий маршрут или общую часть маршрута между некоторыми двумя коммутаторами сети. Мультимедийное соединение между двумя конечными системами ES формируется несколькими виртуальными каналами VC, которые устанавливаются на время их взаимодействия. Соединение виртуальных каналов в сети ATM является двунаправленным и может быть асимметричным. Ячейки, передаваемые по одному виртуальному соединению, должны иметь одинаковую транзитную задержку и ее флуктуацию, хотя могут иметь различный приоритет потери ячеек.

Каждая оконечная ATM-система поддерживается в ATM-коммутаторе определенным сетевым интерфейсом пользователя UNI. Сигнальный UNI-запрос на установление виртуального соединения формируется протоколами сигнализации Q.2931 и PNNI1.1, которые и реализуют функцию управления резервированием сетевых ресурсов.

Во входном коммутаторе на основании комбинации параметров трафика и QoS, которые описываются в дескрипторе требуемого соединения, вычисляется оптимальный маршрут через всю сеть до выходного коммутатора. На каждом транзитном коммутаторе маршрута передачи сигнального сообщения осуществляется процедура реального контроля допустимости установления соединения САС для оценки возможности предоставления коммутатором запрашиваемых сетевых ресурсов для нового соединения без риска нарушения гарантий качества обслуживания QoS уже существующих соединений. Если проверка допустимости нового соединения прошла успешно, соединение устанавливается. В противном случае сигнальный запрос блокируется с уведомлением ES причины блокировки.

Функции САС в коммутаторе АТМ могут быть реализованы либо централизованно, в одноименном модуле, либо распределяться по блокам входных/выходных модулей. В общем случае структура коммутатора АТМ (рисунок 6) содержит входные модули (Input Module, IM), выходные модули (Output Module, OM), поле коммутации ячеек, а также модули контроля за установлением соединений САС и управления коммутатором (Switch Management, SM). В сессии в коммутаторах АТМ реализуется стратегия приоритетного обслуживания трафика, основанная на категориях служб каждого виртуального соединения. Параметризация трафика осуществляется механизмом САС во входных модулях коммутатора (рисунок 1.19).

В режиме установленного соединения концепция «жесткого качества услуг» в сети АТМ обеспечивается механизмами управления трафиком.

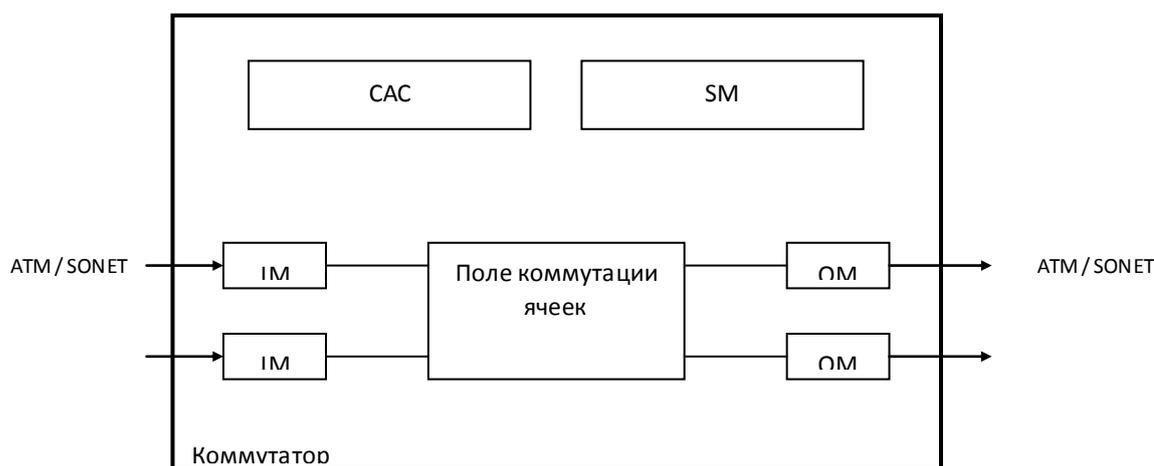


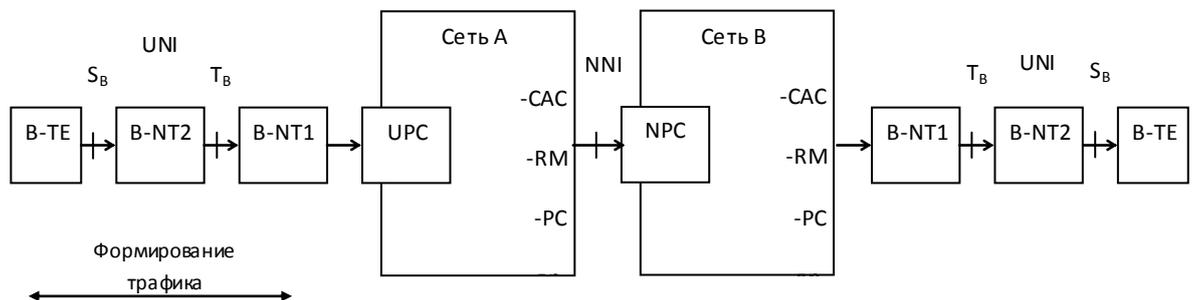
Рис. 1.3. Общая структура коммутатора АТМ: IM – входной модуль; IM – выходной модуль; САС – модуль контроля установления соединения; SM – модуль управления коммутатором.

Эти механизмы определены АТМ Forum в спецификации Traffic Management v. 4.0 и ITU-T в Рекомендации I.371 Traffic Control and Congestion Control in B-ISDN. Процесс управления потоком в сессии является многоступенчатым и включает в себя: формирование трафика

(Traffic Shaping), контроль параметров пользовательского и сетевого трафика (Usage Parameter Control /Networks Parameter Control, UPC)/NPC), обобщенное управление потоком (Generic Flow Control, GFC), контроль приоритетов (Priority Control, отбраковка фреймов (Frame Discard), выборочная отбраковка пакетов (Selective Cell Discard, SCD) и контроль потока ABR (Flow Control ABR, ABR FC) и UBR (UBR FC). Для управления потоками в сети ATM обеспечивается сбор статистических данных в реальном времени по каждому виртуальному соединению. Распределение механизмов обеспечения QoS-норм передачи разнородного трафика в сети ATM в соответствии с эталонной моделью, разработанной ITU-T в Рек. I. 371, приведено на рис. 1.20.

В сети ATM все типы соединений отображены в QoS-классы, поддерживаемые в коммутаторах несколькими уровнями приоритетов обслуживания разнородного трафика. Для транспортировки любого из классов трафика A, B, C или D определено пять категорий сетевых услуг, которые поддерживаются одноименными службами.

Служба, поддерживающая постоянную битовую скорость передачи CBR ориентирована на передачу трафика с установлением соединения и поддержанием изохронности передачи технологией эмуляции каналов CES, которая эмулирует работу сети с синхронным временным мультиплексированием каналов (Time Division Multiplexing, TDM).



Обозначения:

- B-TE – широкополосное оконечное оборудование
- B-NT2 – сетевое окончание 2-го типа
- B-NT1 – сетевое окончание 1-го типа
- NNI – эталонная точка сетевого интерфейса
- UPC – контроль параметров пользователя
- NPC – контроль сетевых параметров
- S_B – эталонная точка между B-TE и B-NT2
- T_B – эталонная точка между B-NT2 и B-NT1
- CAC – управление доступом в сеть
- PC – назначение приоритета
- PM – управление ресурсами
- др. – расстановка, кадрирование, формирование и т.д.

Рис. 1.20. Распределение механизмов обеспечения QoS-норм передачи разнородного трафика в сети ATM

Служба, поддерживающая переменную битовую скорость передачи в реальном времени VBRrt, предоставляет услуги для передачи изохронного трафика с установлением соединения, с переменной битовой скоростью, требующего соблюдения средней скорости передачи данных и синхронизации источника и приемника. При передаче служба VBRrt анализирует природу трафика для выбора конкретного метода его обработки из-за применения различных видов компрессии.

Служба, поддерживающая переменную битовую скорость передачи не в реальном времени VBRnrt, предоставляет услуги для передачи трафика с установлением соединения, требующего соблюдения средней скорости передачи данных и не требующего синхронизации источника и приемника.

Служба, поддерживающая доступную битовую скорость передачи ABR, предоставляет услуги с установлением соединения и поддержанием переменной битовой скорости в ABR-канале. Обеспечивает заданную достоверность передачи данных, некритичных к задержкам, с предоставлением пользователю невостребованной (доступной) полосы пропускания физического канала.

Служба, поддерживающая негарантированную (неуказанную) битовую скорость передачи UBR - предоставляет услуги для передачи трафика, не предъявляющего требований к скорости передачи данных и синхронизации источника и приемника. Определенная гарантия доставки появляется в модернизированной версии UBR+ за счет введения механизмов управления потоком.

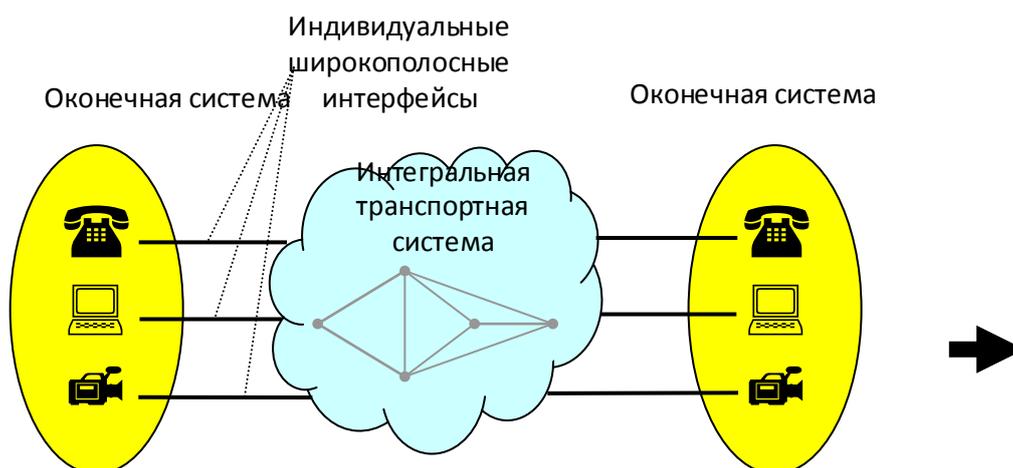
В таблице 1.5. показаны возможные варианты поддержки параметров качества обслуживания и параметров трафика различными службами АТМ. Анализ пакетных технологий, рекомендованных для построения национальных ИКС нового поколения, позволяет сформулировать базовые принципы построения сетей указанного класса.

Таблица 1.5 - Параметры трафика и службы АТМ

Параметры	Категория обслуживания				
	CBR	VBRrt	VBRn	ABR	UBR
<i>Параметры качества</i>					
CTD	+	+	+		
CDV	+	+			
CLR	+	+		+	
<i>Параметры трафика</i>					
PCR	+				
MCR				+	
SCR, MBS		+	+		

1.7. Классификация инфотелекоммуникационных транспортных систем МСС по способу закрепления физических ресурсов сети за соединением

Вторичные сети связи, классифицируемые по способу коммутации в своем большом разнообразии, фактически характеризуются реализуемой в них телекоммуникационной транспортной системой (ТС), которые определяют основные характеристики сетевого обслуживания и рассматриваются в аспекте канального, сетевого и транспортного уровней ЭМ ВОС. Таким образом, для исследования процессов функционирования МСС достаточно ограничиться рассмотрением функций и свойств их ИТС, которые определяют основные характеристики сетевого обслуживания [14]. Выбор конкретных реализаций методов передачи и коммутации (или их комбинаций) диктуется заданными условиями проектирования конкретного типа ИТС и связан с оценкой их эффективности. При этом требования к сетевым алгоритмам, диктуемые характером изохронной нагрузки, всегда являются доминирующими. Анализ специфики функционирования ИТС показывает, что основным назначением ИТС является организация и качественное обслуживание мультимедийного соединения с предоставлением номинальных сетевых ресурсов. Особенностью ИТС является требование обеспечить заданное качество обслуживания мультимедийного соединения (как для изохронного, так и асинхронного трафика), организуемого с мультимедийного терминала в рамках единой транспортной услуги. В этом аспекте ИТС следует рассматривать как новую ступень эволюционного развития интегральных транспортных систем (рисунок 1.21).



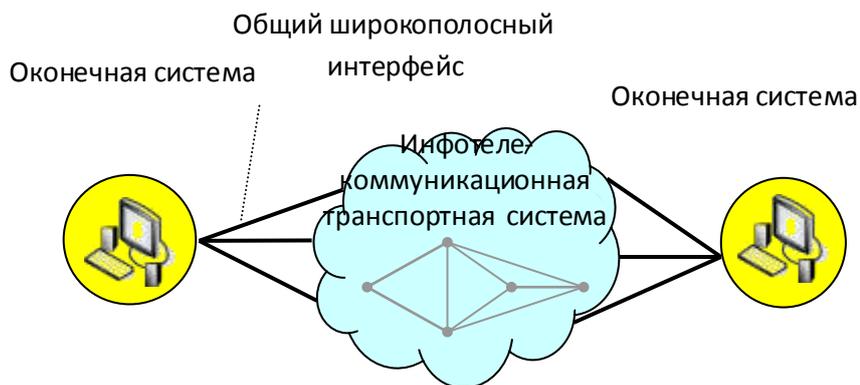


Рис. 1.21. Эволюция интегральных транспортных систем

В целях систематизации моделей, методов и алгоритмов анализа процессов функционирования ИТС и выбора конкретных реализаций с учетом заданных условий проектирования будем классифицировать их на три класса по способу закрепления сетевых ресурсов за соединением в сессии. В этой связи будем различать три типа ИТС: канальную ИТС-К с бесконфликтным или статическим («жестким») закреплением физических ресурсов за соединением, пакетную ИТС-П с динамическим или «нежестким» закреплением физических ресурсов за соединением в режиме коллективного доступа, а также комбинированную (гибридную) ИТС-Г, в которой возможна смешанная стратегия распределения ресурсов. По типу используемых транспортных систем можно классифицировать также и сети связи. Такая классификация является более общей и позволяет объединить большое разнообразие сетей, построенных на одном из базовых методов коммутации и всевозможных его модификациях, в один класс, а также выявить специфику организации переноса информационных потоков и механизмы обеспечения качества их обслуживания в сессии.

В ИКС на технологии АТМ реализовано несколько стратегий закрепления сетевых ресурсов за виртуальным соединением в сессии: при использовании службы СВР (наряду со службами VBR, ABR и UBR) реализуется стратегия с «гибридным» закреплением сетевых ресурсов за соединениями, так как в режиме установленного соединения часть пропускной способности ЛЦТ, которая резервируется за СВР-каналом, не подлежит перераспределению, т.е. полоса пропускания выделяется постоянно не зависит от степени ее реального использования, а перенос изохронного трафика класса А в сеансе связи производится в режиме эмуляции коммутации каналов или с «жестким» закреплением физических ресурсов сети за виртуальным соединением. В то же время при упразднении службы СВР в сети АТМ последняя переходит в категорию чисто пакетных ТС.

1.8. Особенности передачи речевых сигналов в пакетных ИТС. Обеспечение QoS-норм в пакетной и гибридной транспортной системе

Одной из главных проблем в ИТС также остается проблема обеспечения изохронности переноса информационных потоков класса V и их синхронизации при транспортировке мультимедийных объектов в рамках единой универсальной услуги связи. Обеспечить изохронность переноса порций информации в сети можно двумя способами:

1) либо строго фиксировать постоянное время доставки каждой порции информации через ИТС;

2) либо так ограничить трафик на ее входе, чтобы интервалы времени, соответствующие фиксированному значению квантиля распределения времени задержки порций информации в системе, не превышали заданной величины.

При первом способе должны быть полностью исключены случайные задержки информации в транспортной системе. Это возможно лишь в том случае, если ее физические ресурсы в сессии предоставляются каждой порции информации без ограничений и конфликтов доступа, т. е. со статическим или «жестким» закреплением. Необходимо отметить, что физические ресурсы являются компонентами общесистемных ресурсов, в качестве которых выступают логические каналы соответствующих уровней архитектуры ИТС (h -ресурсы и h -каналы в соответствии с терминологией ВОС) и бесконфликтное закрепление общесистемных ресурсов более высоких уровней ИТС не влечет за собой бесконфликтного закрепления общесистемных ресурсов более низких уровней. Например, несколько транспортных каналов транспортного уровня могут использовать один виртуальный канал сетевого уровня, или несколько сетевых виртуальных каналов могут использовать один и тот же логический канал уровня звена. При этом система поклассовых приоритетов при использовании общесистемных ресурсов для реализации конкретного транспортного соединения не приводит к статическому закреплению физических ресурсов ИТС, т. е. даже для информации высшего приоритета перед общесистемным ресурсом может возникнуть очередь из порций информации данного приоритета, принадлежащих разным соединениям. Отсюда следует, что неограниченное бесконфликтное использование физических ресурсов в ИТС возможно только при индивидуальном их закреплении (а следовательно, и индивидуальном закреплением одновременно всех общесистемных ресурсов системы) за V -соединением между двумя сеансовыми V -объектами в мультимедийной сессии. Вполне естественно, что в соответствующем типе ИТС должен существовать механизм такого сквозного бесконфликтного закрепления физических ресурсов за V -соединением в рамках мультимедийного соединения.

При втором способе допускаются случайные задержки информации в ИТС, которые не превосходят некоторой фиксированной величины, т. е. осуществляется ограниченный доступ к ее физическим ресурсам на коллективной основе (определяющий признак пакетных ТС). При этом должны быть приняты некоторые специальные меры, обеспечивающие допустимые фиксированные задержки для отдельных порций информации в сети.

Вопросы для самопроверки

1. Назовите основные этапы эволюции и конвергенции информационных технологий
2. Чем обуславливается развитие информационных технологий?
3. Назовите пять информационных тенденций, которые являются движущей силой в расширении использования и производства ИТ
4. Укажите основные этапы эволюции архитектур информационных систем, их преимущества и недостатки
5. Перечислите основные предпосылки конвергенции связных и информационных технологий
6. Приведите определение NGN-сети. Укажите основные принципы функциональной архитектуры NGN
7. Сформулируйте основные отличительные черты базовой эталонной модели NGN
8. Дайте общую характеристику и особенности инфоуслуг
9. Приведите примеры наиболее популярных предоставляемых и потенциальных услуг технологии Triple Play
10. Опишите основные характеристики базовых потоков информации в ИКС
11. Перечислите основные компоненты и их назначение мультисервисной сети связи как области взаимодействия ИКС
12. Укажите службы и специфику функционально-структурной организации инфотелекоммуникационных транспортных IP-QoS-систем. Основные недостатки технологий
13. Укажите службы и специфику функционально-структурной организации инфотелекоммуникационных транспортных ATM-систем
14. Приведите классификацию инфотелекоммуникационных транспортных систем МСС по способу закрепления физических ресурсов сети за соединением
15. Укажите особенности передачи речевых сигналов в пакетных ИТС. Обеспечение QoS-норм в пакетной и гибридной транспортной системе в режиме сессии

Тема 2. Методология моделирования и анализа процессов функционирования ИТС



При работе с данным разделом Вам предстоит:

1) Изучить темы: Обоснование качественных показателей и критерия эффективности МСС. Построение критерия эффективности. Концептуальная модель МСС. Принцип целостности МСС (Архитектуры ИТС-IP-QoS и ИТС-АТМ). Принцип уровневой иерархии МСС. Принцип единственности МСС как основа задачи ее анализа. Формализация критериев эффективности ИТС (Построение уровневых и комплексных критериев ИТС-IP-QoS и ИТС-АТМ). Формализация задачи анализа ИТС в общем виде

2) Ответить на вопросы теста №2

2.1. Обоснование показателей качества обслуживания мультимедийного трафика в МСС

Состав показателей качества обслуживания QoS, ограничения на значения которых должны учитываться в процессе создания МСС, подробно рассмотрены в [14]. Рассмотрим конкретный состав показателей качества обслуживания мультимедийных потоков в режиме установленного соединения и обоснуем набор ограничений на них, обусловливаемых требованиями пользователей и/или нормативными документами.

При создании МСС (с учетом особенностей ее логической структуры) должны, в первую очередь, выполняться ограничения на значения показателей качества обслуживания вызовов различных типов пользователей на фазе установления соединения, а именно, вероятность потери мультимедийного вызова

$$b^{multy} = b(y^{multy}), \quad (2.1)$$

нормативные (допустимые) значения которых определены соответствующими рекомендациями ИТУ. Здесь y^{multy} – интенсивность поступления мультимедийных вызовов. Создание методики расчета потерь в ИКС – задача теории телетрафика будущего. Отметим, что этот параметр в существующих моделях сетей указанного класса или ее элементов, как правило, не учитывается. Как отмечено выше, в роли ограничений на значения показателей качества обслуживания

изохронного трафика в сессии в существующих моделях сетей с интеграцией служб выступают либо средняя величина сетевой задержки пакета изохронного трафика T^B , либо вероятность $P_r\{t \leq \theta_t^B\}$ доставки пакета указанного класса в сети за время, не превышающее заданное θ_t^B . В дальнейших исследованиях мы будем применять «квантильный» подход, т. е. будем вводить ограничение на заданную вероятность d^B этого превышения, которая гарантирует необходимую изохронность передачи [14]

$$P_r\{t \geq \theta_t^B\} \quad (2.2)$$

это связано со спецификой обслуживания любых изохронных информационных потоков, о чем речь пойдет ниже. С целью уточнения понятия блокировки соединений в сессии введем понятие блокировки ресурса на примере СМО общего типа $G/G/m/w$ [21]. Введем событие: « σ^k заявка класса k принята на обслуживание и время ожидания ее обслуживания не превосходит t^k, c ». Указанное событие означает, что для обслуживания заявки ресурса СМО достаточно. Обозначим это событие $\{\sigma^k; t^k\}$. Пусть вероятность этого события есть $\Pr\{\sigma^k; t^k\}$. Вероятность дополнительного события – «заявка σ^k не принята на обслуживание или если она принята, то время ожидания ее обслуживания больше t^k, c », – есть $1 - \Pr\{\sigma^k, t^k\}$. Назовем эту вероятность вероятностью нехватки или блокировки ресурса P_{bl} СМО и обозначим $P_{bl} \equiv p(m, w, t) = 1 - \Pr\{\sigma^k, t^k\} = 1 - \Pr\{\sigma^k\} \Pr\{t^k | \sigma^k\}$, где $\Pr\{\sigma^k\}$ – безусловная вероятность того, что заявка принята на обслуживание; $\Pr\{t^k | \sigma^k\}$ – вероятность того, что время ожидания заявки класса k не превосходит t^k, c при условии, что она принята на обслуживание. Таким образом, вероятность $p(m, w, x)$ для СМО типа $G/M/m/w$ определяет вероятность блокировки всего ресурса. Если обозначить через p_{m+w} – вероятность того, что в системе все приборы и места для ожидания заняты (произвольный вызов теряется), $G^*(t)$ – условная функция распределения времени пребывания заявки в системе при условии, что она не теряется, то $P_{bl} \equiv p(m, w, t) = 1 - (1 - p_{m+w})G^*(t)$. Точные аналитические выражения p_{m+w} и $G^*(t)$ для СМО типа $G/M/m/w$ приведены в [Takaes, L. Introduction to the Theory of Queues / L. Takaes. N.Y.: Oxford Univ Press, 1962.]. В частности, для этой системы $p(m, 0, 0)$ – вероятность потери заявки в СМО типа $G/M/m/0$, а $p(1, \infty, \theta_{st}^B)$ – вероятность превышения времени пребывания заявки θ^B в СМО типа $G/M/1/\infty$.

Действительно, как следует из [22], при $w = 0 - G^*(t) = \delta(t)$ (функция единичного скачка) и мы приходим к обычному определению потерь в m

-линейных системах СМО без памяти. Если $w = \infty$, то $p_{m+w} = 0$ и вероятность блокировки ресурса системы дается выражением $P_{bl} \equiv 1 - G^*(\theta^B)$.

Последний случай соответствует моделям СМО, традиционно применяемым для анализа сетей с коммутацией пакетов. Таким образом, для пакетных ТС, отдельные звенья которых моделируются СМО типа $G/M/1/\infty$, понятие вероятности блокировки ресурса в сеансе связи для речевого трафика класса B становится эквивалентным вероятности превышения B -пакетами заданного сквозного времени пребывания в сети θ^B . Обозначим эту вероятность d^B . Эта величина характеризует качество переноса речевых B -пакетов. В физическом смысле вероятность d^B есть доля пакетов класса B , превысивших время θ^B и/или потерянных из-за ошибок в заголовке и переполнения буферов маршрутизаторов [14]. Другими словами, для качественного воспроизведения речи важно не среднее время пребывания речевого пакета в сети, а доля речевых пакетов, не доставленных получателю за заданное время, т. е. при анализе необходима фиксация заданного квантиля распределения времени их пребывания в тракте передачи.

Качественный показатель для оценки межпоточной синхронизации передачи изохронного потока с более строгими требованиями к изохронности передачи (например, видеопоток) по сравнению с потоком с менее строгими требованиями (например, аудиопоток) будем оценивать коэффициентом межпоточного смещения

$$R_{skew} = \frac{d^{k1}}{d^{k2}} \leq const, \quad (2.3)$$

где d^{k1} и d^{k2} – заданный уровень изохронности передачи потоков k -го класса.

Для характеристики качества передачи асинхронного трафика в ИТС, вводится заданное среднее время пребывания пакета данных $T_{st,m}^C = \int_0^{\infty} t \varphi_{st,m}^C(t) dt \leq T^C$ в m -м маршруте тракта $st \in S^C$, не превосходящее предельной величины T^C , где $\varphi_{st,m}^C(t)$ – плотность вероятности времени пребывания пакета данных в m -м маршруте тракта $st \in S^C$, т. е.

$$T_{st,m}^C \leq T^C \quad (2.4)$$

Это связано с тем, что (в отличие от обычно применяемой в существующих моделях среднесетевой задержки) для пользователей сети представляет интерес не просто минимальное время пребывания пакета в сети (которое само по себе может оказаться достаточно большим и

неприемлемым, например, для интерактивного обмена), а заданное среднее время. При более жестком нормировании качества переноса высокоскоростных потоков данных класса C , связанным с ограничением на долю потерянных и/или задержанных не по адресу пакетов данных будем также применять «квантильный» подход, т. е.

$$P_r\{t \geq T^c\} \leq d^c \quad (2.5)$$

2.2. Обоснование критерия эффективности

В качестве основополагающего методологического средства оценки системы принята ее экономическая и/или функциональная «эффективность». Оценка эффективности сложных систем, к которым относятся ИТС, является сложной и не до конца решенной проблемой. Наиболее важным требованием к критерию эффективности является *способность критерия измерять эффективность рассматриваемой системы*. В этой связи критерий эффективности должен отражать основное назначение системы, исходя из цели ее проектирования. Другим, не менее важным, требованием к критерию является *возможность его оценки в количественной, численной форме*, исключающей неоднозначность толкования его значения. При этом критерий эффективности должен иметь четкий физический смысл и давать наглядное представление об исследуемом качестве системы. Третье по важности требование заключается в *чувствительности критерия* к основным варьируемым параметрам системы, что позволяет определить наиболее рациональные характеристики системы или ее составляющих. Четвертое требование - критерий *должен обеспечить сравнение различных вариантов построения системы* для выбора наиболее рационального. Последнее требование относится к полноте учитываемых критерием главных параметров системы или ее составляющих, определяющих назначение и качество работы системы. Кроме того, критерий *должен быть достаточно простым и удобным в инженерной практике расчета*. Эффективность системы, а следовательно, и ее критерий в общем случае зависят от трех групп факторов: характеристик многомерного входящего потока (интенсивности, длин сообщений и др.); особенностей функционирования системы; экономических показателей, характеризующих ее работу и др.

Как отмечалось выше, основным характеристическим показателем качества функционирования (характеристической мерой) ИТС с учетом ее назначения является степень использования пропускной способности системы, а конечной **целью** функционирования - максимально эффективное использование ее ресурсов при организации мультимедийного соединения. Это, в свою очередь, порождает две целеполагающие функции системы. Первая функция связана непосредственно с самой системой и характеризует эффективность или степень использования ресурса системы, т. е. является характеристикой

качества функционирования системы (Network Performance, NP). Вторая функция связана с процессом переноса мультимедийной информации и характеризует качество обслуживания пользователя QoS, т. е. является характеристикой качества обслуживания.

Назначение ИТС однозначно предопределяет вид ее комплексного функционального критерия эффективности системы (целевой функции) K в виде общей числовой характеристики использования пропускной способности системы мультимедийным трафиком с учетом ограничений на QoS-нормы его переноса. Указанная скорость определяется номинальными скоростями отдельных потоков, обслуженных системой и дается аддитивной формой

$$V_{st}^{\min} = \sum_k V_{st}^{k \min} = \sum_k K_{st}^k V_{st} \quad (2.6)$$

$$\text{при } P_r \{ t \geq \theta_{st}^B \} \leq d^B, R_{skew} = \frac{d^{B1}}{d^{B2}} \leq const, T_{st}^C \leq T_{\max}^C (P_r \{ t \geq T_{st}^C \} \leq d^C) \quad (2.7)$$

При этом значение номинальной полосы пропускания должно удовлетворять ограничениям допуска нового соединения, в качестве которых могут выступать ограничения на качественные показатели транспортировки разнородного трафика в сессии. Оценку эффективности функционирования пакетной (гибридной) ИТС в режиме установленного соединения можно оценить также коэффициентом использования сквозного цифрового тракта передачи трафиком различной природы на транспортном уровне:

$$R^{P(g)} = [V_{st}^{\min B(A)} (1 - d^B) + V_{st}^{\min C} (1 - d^C)] / V_{st} \quad (2.8)$$

Та система лучше, у которой этот коэффициент лучше при заданных условиях проектирования. Расчет показателей пропускной способности и качества обслуживания сети связи относится к задачам анализа.

Критерий K как характеристическая мера является первичным критерием эффективности, в то время как вторичные критерии порождают ограничения на качественные показатели переноса мультимедийной информации. Необходимо отметить, что построение удобного в инженерной практике комплексного показателя эффективности, объединяющего в себе основные частные критерии является не тривиальной задачей.

2.3. Концептуальная модель МСС

Под методологией анализа понимают совокупность системных методов, указывающих возможные альтернативные способы достижения цели и принципов, направленных на решение проблемы моделирования и исследование процессов функционирования ИТС. При этом принцип, как один из аспектов методологии, — есть постоянно и последовательно

применяемый метод.

2.3.1. Системная модель инфотелекоммуникационной транспортной системы

Функционально-структурная организация ИТС, описанная в разделе 1, определяет ее структуру на уровне функциональных компонентов (подсистем) и порядок их взаимодействия при выполнении единой цели системы. Описание любой системы и условий ее функционирования характеризуется определенной совокупностью параметров. При анализе и синтезе любой системы формируются, в основном, три группы данных: 1) **входные параметры**, определяющие ограничения задачи оптимизации; 2) **внутренние или проектные параметры**, под которыми понимают независимые переменные параметры, полностью и однозначно определяющие решаемую задачу проектирования; 3) **выходные или целевые параметры (интегральные и дифференциальные)**: экономические, вероятностно-временные характеристики процесса доставки сообщений, использования сетевых ресурсов и др. Внешние и внутренние группы параметров образуют **параметрические базисы**.

Среди выходов могут быть выделены: переменные — критерии, максимизируемые или минимизируемые в процессе оптимизации, переменные — лимиттеры, на которые накладываются ограничения. Внутренние переменные применительно к задаче оптимизации разбиваются на две группы — управляемые и неуправляемые. Первые — модельные параметры, непосредственно влияя на которые алгоритм осуществляет оптимизацию, вторые — различные производные от управляемых, которые могут быть как контролируруемыми, так и неконтролируемыми. На переменные этого базиса также могут накладываться ограничения.

Входные параметры ИТС определяют ограничения задач оптимизации и задаются вектором I^k , который может быть представлен набором следующих агрегатов

$I^k = [Q^k, \lambda^{multy}, \lambda_{ij}^k, \Lambda^k, Y^{multy}, \rho_{ij}^k, v^B, \omega^C, s^k, \tau^B]$. Здесь Q^k количество конечных систем (End System, ES) q -го типа в k -ом классе трафика. Нагрузочные характеристики: λ^{multy} - интенсивность мультимедийных вызовов; λ_{ij}^k - интенсивность потока k -го класса в ЛЦТ ij , пакет/с (сообщений/с);

$\Lambda^k = \sum_k \lambda^k$ - суммарная интенсивность внешнего пуассоновского потока k -го класса; Y^{multy}, ρ_{ij}^k - соответственно суммарная мультимедийная нагрузка, поступающая в систему (эрл) и коэффициенты межузловой загрузки ЛЦТ использования (загрузки) трафиком k -го класса; v^B - скорость работы речепреобразующего устройства, бит/с; ω^C - скорость

работы абонентской установки данных, бит/с; s^k - длины сообщений данных, бит. τ^B - длительность речевого фрагмента, с; $c_{УК}$ - производительность УК, пакет/с.

Внутренние параметры ИТС могут быть представлены следующим вектором $W^k = [G, H_h^k, A^k, d^{A(B)}, T^C, V_{ij}, p_{ij}^{ou}, L^k]$, где подвектор G отображает тип топологической структуры; подвектор протоколов $H_h^k = [H_{Ph}^k, H_{ATM}^k, H_{AAL}^k]$ отображает типы протоколов ИТС ($h = \overline{1,5}$ - для ИТС-АТМ); подвектор $A^k = [N^k]$ отображает тип административной системы управления, где N^k - характеризует систему сетевого управления; p_{ij}^{ou} - вероятность ошибки в ЛЦТ $ij \in I^k$; V_{ij} - скорость передачи в ЛЦТ, бит/с; L_h^k - длина протокольного h -уровневого примитива логической структуры сети, бит;

Выходные или целевые параметры ИТС задаются вектором $O^k = [C^k, P^k, F^k]$. Подвектор $P^{*k} [b^k, d^B, R_{skay}, T^C]$ отображает вероятностно-временные характеристики ИТС, определение компонент которого дано выше; подвектор $C^k [C_K^k, C_{II}^k, D_{ПOT}^k]$ отображает стоимостные характеристики и $F^k [I^k, W^k]$ функциональные характеристики. При необходимости задаются также и требования к этим характеристикам. Среди экономических критериев предпочтение отдается приведенным затратам. Системную модель ИТС в самом общем виде можно представить в виде зависимости

$$O^k = f(I^k, W^k), \quad (2.9)$$

где: O^k — некоторый выходной (целевой) количественный показатель эффективности системы в плане достижения цели ее существования V^{\min} , будем называть его — критерий эффективности (в нашем обозначении K^k); W^k — управляемые переменные системы; I^k — неуправляемые, внешние по отношению к системе воздействия.

Указанная функциональная зависимость является критерием эффективности ИТС в плане достижения ее целеполагания. Подобная формализация необходима для декомпозиции общей задачи анализа процессов функционирования ИТС на частные задачи и перехода от внешнего описания системы к описанию ее внутреннего строения. При этом возможны следующие задачи [28]:

$$\text{Дано: } I^k, W^k. \text{ Найти } O^k \quad (2.10)$$

$$\text{Дано: } I^k, \text{ ограничения на } O^k. \text{ Найти } W^k. \quad (2.11)$$

$$\begin{aligned} &\text{Дано: } I^k, \text{ ограничения на } O_1^k. \text{ Найти } W_0^k, \\ &\text{ доставляющее } \text{opt} O_2^k; O^k = [O_1^k, O_2^k]. \end{aligned} \quad (2.12)$$

Если фиксировать компоненты вектора W^k и варьировать их параметрами то получим соответственно следующие проектные процедуры: **параметрического анализа** (2.10) - (заданы структура сети и пропускные способности пучков каналов; требуется минимизировать ВВХ сети, варьируя потоками), **параметрического синтеза** (2.11) - (заданы структура сети, матрица нагрузок, максимальная общая стоимость сети; требуется минимизировать ВВХ сети, варьируя пропускной способностью отдельных пучков каналов) и **параметрической оптимизации** (2.12). В задаче (2.12.) вектор O_2^k - количественный критерий эффективности системы, а компонентами O_1^k являются ограничения оптимизационных задач на вероятностно-временные характеристики ИТС. Выбор состава оптимизируемых параметров и разработка математических методов расчета показателей качества и критерия эффективности защищенной ИТС основаны на ряде предположений о функционально-структурной организации подсистем. Для оценки эффективности и расчета вероятностно-временных характеристик (ВВХ) системы необходимо 1) построить критерий эффективности ИТС; 2) разработать на базе критерия эффективности ее аналитическую модель, выявляющую функциональные зависимости критерия эффективности и критерия обслуживания от параметров системы; 3) разработать алгоритмы численного расчета характеристик системы на основе полученных аналитических зависимостей.

2.4. Принцип целостности МСС

2.4.1. Принцип функционально-структурной целостности инфотелекоммуникационных транспортных систем

Принцип функционально-структурной целостности ИТС предписывает при построении ее моделей функционирования рассматривать все элементы ИТС и все функциональные процессы в ней только как **одно целое**, только в совокупности, только во взаимосвязи друг с другом с учетом ее целеполагания и сетевого окружения, в котором анализируемая система находится в определенных отношениях с другими системами. Наиболее естественной основой такого подхода при построении моделей процессов функционирования ИТС является концепция их архитектур.

2.4.2. Концепция архитектуры мультисервисной сети и ее основные особенности

Под архитектурой МСС будем понимать уровневую организацию необходимых функций, протоколов и их программных реализаций, которые должны выполняться сетью для целенаправленного

инфокоммуникационного обслуживания мультимедийных компонентов прикладного уровня (предоставления инфоуслуг). Построение и исследование архитектуры МСС позволяет:

- иерархически разделить сетевые функции, на логически завершённые функциональные группы задач (логические уровни или подсистемы), для определения механизмов их реализации;
- выявить особенности их функционирования, связанные с обслуживанием мультимедийного трафика в рамках единой транспортной услуги;
- выработать единый язык для описания множества функций взаимодействия в сети;
- детализировать протоколы и форматы протокольных блоков соответствующих логических уровней применительно к передаче и обработке мультимедийного трафика;
- провести комплексный анализ и синтез систем на основе декомпозиции их функциональных и протокольных структур.
- разработать модели, методы и алгоритмы анализа и синтеза различных реализаций инфотелекоммуникационных систем;
- объединить задачи по техническому обслуживанию и управлению сети и ее элементов и др.

Построение моделей процессов функционирования МСС требует наличия специальной терминологии для формализованного описания объектов исследования. Для формализованного описания функционально-структурной организации и выявления общих принципов построения ИТС будем использовать терминологию и принципы формализованного описания объектов исследования модели архитектуры взаимодействия открытых систем (ВОС) - (Open System Interconnected, OSI), сформулированные в рекомендациях серии I. МККТТ и в эталонной модели (ЭМ) Международной организации стандартов (МОС) - (International Standard Organization, ISO) и получившие дальнейшее развитие для моделей архитектур ЦСИС. Специфику МСС при ее проектировании важно выявить в терминах этих моделей, учитывающих специфику передаваемой информации, использования ресурсов сети и протоколов обмена различными видами информации. При этом мы будем рассматривать МСС как более широкий класс открытых сетей.

Архитектура МСС описывает построение и взаимосвязь ее логической, программной и физической структур.

Логическая структура сети описывает ее полный функциональный профиль и базируется на рассредоточении процессов передачи и обработки разнородной информации по функциональным (логическим) h -уровням каждой из ее систем и имеет многослойный вид. Система в модели OSI - это автономное объединение одной или нескольких ЭВМ, соответствующего программного обеспечения, периферийных устройств и пользователей, способное обрабатывать и передавать

информацию. Систему, удовлетворяющую требованиям стандартов ISO, именуют открытой. Отметим, что модель OSI описывает взаимодействие открытых систем и не описывает внутренние функции, выполняемые конкретной системой. Логическая структура сети должна удовлетворять принципам системной декомпозиции, в частности, обеспечивать относительную независимость уровней друг от друга, что позволяет модифицировать функции любого уровня, определить тип структурных отношений, характеризуемых упорядоченностью и организованностью взаимодействий между отдельными уровнями по вертикали, а также разложить ИТС по парам «источник-получатель».

Каждая система в МСС рассматривается в виде логически взаимосвязанной совокупности подсистем, образованных в результате пересечения системы с некоторым h -уровнем. Уровень образуют подсистемы одного ранга. Каждая подсистема состоит из одного или нескольких h -уровневых объектов. Суть уровневой организации состоит в предоставлении более высокому смежному логическому уровню сервисных услуг более низкого логического уровня. Услуга - это функциональные возможности h -уровня, которые предоставляются в распоряжение $(h+1)$ -объектам в h -точках доступа услуг (h -ТДУ), которые играют роль логических интерфейсов (правил взаимодействия между смежными уровнями) между h -объектами и $h+1$ -объектами. При создании однородных ИТКС, например, на базе волоконно-оптических линий связи, методика логического проектирования значительно упрощается за счет упразднения отдельных функциональных уровней архитектуры сети.

Отличительной особенностью архитектуры сетей указанного класса является наличие в их логической структуре, по крайней мере, трех базовых дополнительных функций: **функции «управления резервированием сетевых ресурсов»**, **функции «контроля допустимости установления сессии»** и **функции «совмещения»**, а также **функций безопасности с учетом классов трафика**.

Программная структура МСС реализует функциональный профиль сети, представленный объектами логических уровней, базируется на декомпозиционной иерархии ее программного обеспечения и описывает взаимодействие связанных между собой отдельных программ, отображающих работу и взаимосвязь логических уровней. Одноранговые объекты h -уровня взаимодействуют между собой с помощью одного или нескольких протоколов через логические соединения, создаваемые на $h-1$ уровне. Спецификация протоколов h -уровня определяет процедуры выполнения служб, форматы управляющих и информационных полей протокольных блоков уровня, процедуры обмена протокольными блоками между объектами h -уровня в разных открытых системах, а также механизм выбора указанных процедур из списка возможных.

Протокольным блоком данных уровня (protocol data unit, PDU) называются фрагменты информации, пересылаемые между одноранговыми объектами уровня двух систем. Каждый логический h -уровень формирует протокольный блок данных из сервисного блока данных (service data unit, SDU), переданного вниз с $h+1$ -уровня, добавляя к нему управляющую информацию конкретного протокола взаимодействия одноранговых объектов своего h -уровня (protocol control information, PCI). Часть информации, составляющей PCI, передается с $h+1$ -уровня на h -уровень в виде параметров запроса службы. h -объекты h -уровня взаимодействуют между собой через логические каналы. Например, логические каналы между объектами канального уровня модели OSI именуется каналами передачи данных, а между объектами транспортного уровня – виртуальными каналами.

Физическая структура МСС базируется на конкретных технических устройствах и позволяет оптимально реализовать в них отдельные логические функции или их совокупность.

Сравнение базовых моделей архитектур ВОС, ВРМ (B-ISDN Protocol Reference model) приведено на рис. 2.1.

№ п/	Модель OSI	№ п/	Модель архитектуры протокола ВРМ
7	Прикладной А	6	Верхний Н
6	Представлений Р		
5	Сессий S		
4	Транспортный Т	5	Подуровень конвергенции уровня адаптации АТМ, СS
3	Сетевой N	4	Подуровень сегментации и сборки уровня адаптации АТМ,
2	Канальный L	3	Уровень АТМ
1	Физический Ph	2	Подуровень конвергенции физического уровня АТМ, Ph
		1	Подуровень, зависящий от физической среды физического уровня АТМ, Ph PM

Рис. 2.1. Модели архитектур OSI, ВРМ и DARPA-QoS

Логическая и программная структура архитектуры ИТКС IP-QoS приведены на рисунке 2.2.

Программная структура архитектуры DiffServ	Программная структура архитектуры IntServ	Логическая структура архитектуры МСС IP-QoS	Логическая структура архитектуры DARPA
FTP, Telnet, SMTP DNS, RIP, SNMP, <i>SLA/SLS (драйвер RSVP+), RTP, RTCP, RTSP</i>	FTP, Telnet, SMTP DNS, RIP, SNMP, <i>драйвер RSVP, RTP, RTCP, RTSP</i>	Прикладной А-уровень (функция установления сквозных соединений с заданными QoS-нормами передачи трафика, функция синхронизации мультимедийных потоков)	Прикладной А-уровень
TCP,UDP, <i>RSVP+</i>	TCP,UDP, <i>RSVP</i>	Транспортный Т-уровень (функция управления резервированием сетевых ресурсов, функция «совмещения» трафика, функция синхронизации мультимедийных потоков)	Транспортный Т-уровень (функции транспортного уровня модели ВОС и часть функций ее сеансового уровня)
IP (ARP, IGMP, ICMP), <i>TCA/TCS; DSCP, TC, PHB</i>	IP (ARP, IGMP, ICMP), <i>алгоритмы контроля доступа и политики; ToS, классификатор пакетов, планировщик пакетов</i>	Межсетевой I-уровень (функция контроля допустимости установления соединения, функция «совмещения» трафика)	Межсетевой I-уровень (поддержка адресации IP-пакетов и их маршрутизация)
Ethernet, Token Ring, FDDI, Frame Relay, <i>MPLS, ATM</i>	Ethernet, Token Ring, FDDI, Frame Relay, <i>MPLS, ATM</i>	Сетевого интерфейса NA-уровень (функция поддержания заданных QoS-норм передачи разнородного трафика)	Сетевого интерфейса NA-уровень (передача IP-пакетов в сетевую среду и прием этих пакетов из сетевой среды)

SDH/SONET, xDSL	SDH/SONET, xDSL		Физический Ph-уровень	Физический Ph-уровень
--------------------	--------------------	--	--------------------------	--------------------------

Рис. 2.2. Логическая и программная структура архитектуры ИТКС IP-QoS

2.4.3. Архитектура *инфотелекоммуникационных транспортных систем на технологии IP-QoS*

Модель архитектуры ИТКС на технологии IP-QoS базируется на четырехуровневой концептуальной модели архитектуры сети Агентства перспективных исследований национального Министерства обороны США (Defence Advances Research Agency, DARPA). Логическая и программная структура ИТКС на технологии IP-QoS включает в себя следующие функциональные уровни: прикладной, транспортный, межсетевой и сетевого интерфейса или сетевого доступа. Логическая и программная структура архитектуры ИТКС на технологиях IntServ и DiffServ приведена на рис.2.2. Анализ особенностей моделей архитектуры ИТКС на технологии IP-QoS с позиций размещения, организации и реализации базовых функций и их реализации проведен в [14].

Три нижележащих уровня модели архитектуры DARPA (Т-уровень, I-уровень и NA-уровень) образуют логическую структуру *транспортной системы* сети, которая описывает основные функции собственно сети связи, их логическую взаимосвязь и параметры, поэтому при построении моделей сетей связи целесообразно рассматривать именно свойства и функции их транспортных систем.

Основной задачей транспортного уровня (**Т-уровень**) является обеспечение переноса мультимедийной информации между прикладными объектами оптимальным образом при требуемом качестве обслуживания разнородного трафика. Как правило, функции **Т-уровня** реализуются в ядре операционной системы ПЭВМ пользователя, т. е. **Т-уровень** совпадает с традиционной границей между сферами операторов связи и пользователей. Для организации переноса мультимедийного потока с комплексным представлением информации нескольких типов логические объекты уровня должны обеспечивать установление требуемого количества сетевых логических соединений и задействовать протокол их совместного использования в рамках единой транспортной услуги. Однако может быть режим (более характерный для передачи мультимедиа), когда одно сетевое соединение обеспечивает более чем одно транспортное соединение. В этом случае требуется функция (и протокол) мультиплексирования I-соединения. Очевидно, что транспортный уровень при этом должен иметь информацию о качестве обслуживания каждого I-соединения, и наличии ресурсов I-соединений в

каждом направлении. На T-уровне ИКС на технологии IP-QoS реализуются следующие основные функции:

- создание мультимедийного логического транспортного соединения;
- управления резервированием сетевых ресурсов;
- реализация функции совмещения разнородного трафика;
- обеспечение изохронности переноса элементов потока;
- межпоточная синхронизация мультимедийных потоков;
- управление разнородными потоками информации между двумя портами;
- обеспечение повторной передачи потерянных или ошибочных данных и др.

В сети IntServ функция *управления резервированием сетевых ресурсов* обеспечивается сигнальным протоколом RSVP. Параметры для резервирования ресурсов содержатся в описателе потока сообщения *Resv*, который включают в себя спецификацию фильтра *filter spec* и спецификацию потока *flowspec*. Спецификацию потока можно разделить на две группы: спецификацию трафика (*Traffic Specification, Tspec*) и спецификацию сервисного запроса (*Service Request Specification, Rspec*). Спецификация *Tspec* определяет количественные параметры потока: среднюю скорость потока; длину пачки пакетов, генерируемой источником; пиковую скорость; минимальный и максимальный размер поля данных IP-пакета PDU, а *Rspec* — параметры качества обслуживания: полосу пропускания, задержку пакета, вероятность потери пакета). Форматы и содержимое «*Tspec*» и «*Rspec*» определяются общими моделями обслуживания [RFC 2210].

Повреждение или фальсификация запросов резервирования может привести к получению услуг неавторизованными пользователями или к отказам в услугах. RSVP осуществляет защиту против таких атак с помощью механизма аутентификации, действующего в каждом из узлов и использующего шифрование с применением хэш-функций. Механизм поддерживается объектами «*INTEGRITY*», которые могут быть включены в любое сообщение RSVP. Эти объекты используют технику криптографических дайджестов.

В сети DiffServ функция *управления резервированием сетевых ресурсов* реализуется в процессе заключения с пользователем «трафик-контракта» или соглашения на поставку услуги определенного уровня SLA. При этом SLA отведен наивысший уровень абстракции в специфицировании услуги, а параметризация трафика выделена в его самостоятельное подмножество. Параметры потока декларируются в соглашении/спецификации по трафику TCA/TCS (*Traffic Conditioning Agreement*)/(*Traffic Conditioning Specification*). В соответствии с заявленным классом обслуживания приложению осуществляется требуемое резервирование ресурсов. В результате заключения «трафик-

контракта» для приложения гарантируется требуемое резервирование сетевых ресурсов и параметризация класса сервиса в сети.

Функция «совмещения» на **T-уровне** рассматриваемых сетевых архитектур вводится **в явном виде** и реализуется различными программными механизмами в ядре операционной системы ES пользователя. Во-первых, она реализуется здесь «окраской» потока определенными значениями поля «порт получателя» в заголовке TCP-сообщения (Приложение 2) транспортного протокола с контролем передачи (Transport Control Protocol, TCP). Во-вторых, для «окраски» потока может быть использовано поле указателя срочности данных UP (Urgent Pointer). Это поле содержит номер пакета, начиная с которого следуют пакеты повышенной срочности при установлении флага «срочности» URG в поле «Резерв». Отметим, что каждое соединение однозначно специфицируется парой сокетов (sockets), каждый из которых определяется протоколом и адресом хоста. Формат адреса специфичен для каждого протокола. Так, в TCP/IP этот адрес представляет собой комбинацию IP-адреса и порта. Два сокета (по одному на каждой стороне соединения) образуют двухсторонний коммуникационный путь. Механизм сокетов, позволяет работать на одном порту одновременно нескольким приложениям и однозначно идентифицировать каждый поток данных в сети. Существует два типа сокетов: сокет потока (stream socket) и сокет дейтаграммы (datagram socket).

Основными функциями T-уровня является также поддержание *изохронности* в пределах определенного допуска при передаче изохронного трафика и *межпоточная синхронизация* мультимедийных потоков на входе и выходе транспортного соединения.

Компенсация джиттера на T-уровне может быть осуществлена введением некоторой константы времени задержки в сглаживающем буфере на приеме, либо применением специальных алгоритмов, обеспечивающих выбор и реализацию оптимальной задержки речевых пакетов в сглаживающем буфере на основе комплексной информации о его прохождении в сети и «синхронизации» часов приемника и передатчика. Для поддержания заданной величины изохронности передачи трафика в оконечных устройствах может быть задействован алгоритм виртуального планирования скорости поступления пакетов (ячеек) - (VSA, Virtual Scheduling Algorithm), который является разновидностью общего алгоритма регулирования скорости ячеек (Generic Cell Rate Algorithm – GCRA, определенного в Рекомендации I.371 ITU-T. Для этих целей в оконечных системах ES сетей IP-QoS также могут быть задействованы дополнительные механизмы для контроля параметров трафика, такие как, например, протокол реального времени (Real-Time Protocol, RTP) и протокол управления (RTP Control Protocol, RTCP) [RFC1889], используемый совместно с протоколом RTP, а также протокол для потоковых данных реального времени (Real-Time Streaming

Protocol, RTSP) [RFC2326]. Семейство рекомендаций ITU-T H.32x описывает функционирование систем мультимедиа связи в различных транспортных технологиях, а семейство рекомендаций T.12x дополняет их в части обеспечения совместной работы над документами.

Межсетевой **I-уровень** обеспечивает установление, поддержание и разъединение логического мультимедийного соединения между двумя объектами транспортного уровня с фиксацией маршрутов переноса многокомпонентных информационных потоков в сессии в рамках единой транспортной услуги. К основным функциям уровня следует отнести:

- контроль допустимости установления соединения;
- совмещение мультимедийного трафика;
- организация маршрутизации и ретрансляции пакетов различных классов трафика в рамках предоставления единой транспортной услуги и др.;

В технологии **IntServ** на I-уровне реализован динамический подход *контроля допустимости установления соединения* САС. Функция САС реализуется в маршрутизаторах посредством двух модулей: модуля «контроль доступа», который на основании параметров flowspec осуществляет проверку наличия требуемых свободных ресурсов и административного модуля «управление политикой», который проверяет полномочия приложения на заявленный ресурс на основании значения данных «POLICY_DATA» из спецификации filter spec. Управление политикой будет зависеть от положительного результата аутентификации для каждого из запросов резервирования. Информация, характеризующая политику, может быть включена в сообщение в виде криптографически защищенного сертификата пользователя. Для параметризации потока используются спецификация фильтра (используется классификатором пакетов для идентификации пакетов одного и того же потока с определенным IP-адресом отправителя и выходным портом) и спецификация потока (используется для задания параметров планировщика пакетов).

Функция контроля допустимости установления соединений в сети IP на технологии **DiffServ** [RFC 2475] фактически реализуется путем соответствующих настроек параметров в базе данных (БД) граничных маршрутизаторов. В любом случае на каждом маршрутизаторе сети классы сервиса CoS настраиваются заранее (либо вручную на долговременной основе, либо динамически для каждого сеанса связи). При этом формируются таблицы соответствия между классом сервиса CoS и значением кода DSCP (DS code point поля «дифференциальная услуга» DS заголовка IP-пакета [RFC2475]) путем соответствующих настроек параметров в базе данных (БД) граничных маршрутизаторов. На сегодняшний день стандартизовано 14 DSCP. На границе «облака» маршрутизаторов DiffServ потоки агрегируются в группы по значению кода DSCP, который помещается в поле DS заголовка пакета после его

классификации. Пакеты, не принадлежащие TCS, обслуживаются в соответствии с механизмом BE.

Основная функциональная нагрузка I-уровня в пакетных ИТС – организация QoS-маршрутизации мультимедийных потоков, что связано с организацией соответствующих дисциплин обслуживания очередей для потоков различных классов в выходных буферах маршрутизаторов. При этом обслуживание изохронного трафика носит явно выраженный условный характер. Этот факт накладывает определенную специфику на функциональную структуру уровня, связанную с необходимостью «окраски» потоков в сессии. Перенос протокольных блоков (пакетов) многокомпонентных потоков в сессии реализуется в соответствии с таблицами маршрутизации, которые формируются на фазе установления мультимедийного соединения. На I-уровне **функция «совмещения»** реализуется соответствующей «окраской» типа трафика. В **IntServ** на I-уровне «окраска» типа трафика реализуется посредством определенных значений трех старших бит служебного поля «тип сервиса» (Type of Service, TOS) заголовка IP-пакета (подполе приоритета пакета (PRECEDENCE)), а в сети **DiffServ** – значений шести старших битов (код DSCP) поля «дифференциальная услуга» DS заголовка IP-пакета (здесь поле TOS переименовано на DS).

Новая версия протокола IPv6 помимо расширения адресного пространства до 128 битовых адресов расширяет и набор опций заголовка, в число которых входят: Hop-by-Hop, Routing (Type 1), Fragment, Destination Option, Authentication, Encapsulation Payload. В IPv6 имеются дополнительные механизмы для «окраски» пакета в сеансе связи. Относительный приоритет доставки пакетов указывается в 8-битовом поле «Класс трафика». Значения приоритетов делятся на два диапазона. Коды от 0 до 7 используются для задания приоритета трафика, для которого отправитель осуществляет контроль перегрузки (например, снижает поток TCP в ответ на сигнал перегрузки). Значения с 8 до 15 используются для определения приоритета трафика, для которого не производится снижения потока в ответ на сигнал перегрузки, например, для пакетов «реального времени». Практически, уровни приоритета выше или равные 8 зарезервированы для передачи данных в реальном масштабе времени. Для трафика, не критичного к перегрузкам, нижнее значение приоритета (8) должно использоваться для тех пакетов, которые отправитель разрешает выбросить в случае перегрузки (например, видео трафик высокого качества), а высшее значение (15) следует использовать для пакетов, которые отправитель не хотел бы потерять (например, аудио трафик с низкой надежностью). Для «окраски» пакета в сеансе связи может быть использовано и поле заголовка «Метка потока». Поле «Метка потока» позволяет выделять и особым образом обрабатывать отдельные потоки данных без необходимости анализировать содержимое пакетов и может

использоваться отправителем для указания на специальную обработку пакета в маршрутизаторе с целью обеспечения требуемого QoS или сервиса реального времени «real-time». «Окраска» потока, пакеты которого требуют соответствующей обработки в маршрутизаторе может быть осуществлена посредством протокола управления или внутри самих пакетов, например, в опции «Hop-by-Hop».

В *физической структуре* сети IntServ функция «совмещения» реализуется в классификаторах пакетов, а в *физической структуре* сети DiffServ – формирователем трафика TC.

В сеансе связи в сети IntServ на каждом транзитном маршрутизаторе, классификатором пакетов организуется контроль предоставления выделенных ресурсов со стороны сети, идентификация и маркировка поступающих пакетов по значениям четырех параметров: IP-адресу и номеру порта источника, IP-адресу и номеру порта приемника (микротоковая идентификация - microflow). Пакеты маркируются в классификаторах посредством определенных значений трех старших бит служебного поля «тип сервиса» TOS заголовка IP-пакета (подполе приоритета пакета (PRECEDENCE)) с целью определения принадлежности определенному потоку и, после прохождения процедуры «политика управления нагрузкой» (policing), направляются в отдельные исходящие очереди для разных потоков на одном и том же порту в соответствии с их приоритетом или QoS-параметрами. Планировщик пакетов, отвечающий за обработку очередей в соответствии с требуемой дисциплиной обслуживания, осуществляет контроль соответствия параметров входного потока заявленным, распределяет процессорное время и определяет, из какой очереди очередной пакет будет отправлен на обслуживание. Следовательно, им решается задача разделения полосы пропускания исходящего тракта в соответствии с заданными QoS-параметрами для каждого индивидуального потока.

Классификация пакетов в сети DiffServ осуществляется на основании набора параметров «профиль трафика» (traffic profile) из TCS по IP-адресу и номеру выходного порта. При этом определяется соответствие параметров входного потока классу обслуживания CoS, который определяется кодом DSCP в заголовке IP-пакета, т. е. проводится авторизация значения кода в базе данных граничного маршрутизатора. В технологии DiffServ предусмотрено два правила классификации:

- агрегированное поведение BA (behavior aggregate), когда каждому пакету в результате классификации присваивается агрегированное поведение BA путем присвоения полю DS заголовка пакета соответствующего значения DSCP;

- многопараметрическое MF (multi-field), когда классификация производится на основе информации, содержащейся более чем в одном поле заголовка (например, маркировка пакетов на основе адреса или порта отправителя/получателя, идентификатора протокола, и т. п.).

Агрегированному однопоточному потоку в соответствии со значением кодового слова DSCP во всех транзитных маршрутизаторах домена предоставляется одинаковый режим обслуживания PNH, определяемый классом сервиса CoS. Документ [RFC 2475] определяет режим PNH как комбинацию функций маршрутизации, классификации, обработки очередей и методов сброса пакетов на каждом шаге передачи пакета от узла к узлу внутри домена DiffServ. Определение необходимого режима обслуживания PNH в транзитном маршрутизаторе осуществляется формирователем трафика TC.

2.4.4. Архитектура инфотелекоммуникационной транспортной ATM системы

Архитектура ИТС-АТМ базируется на архитектуре эталонной модели протокола широкополосной ЦСИС (Broadband Integrated Services Digital Network, B-ISDN), которая объединяет (согласно множеству используемых протоколов) три функциональные плоскости (рис. 2.3): пользователя (отвечает за перенос многокомпонентного информационного потока), управления (управляет вызовами и соединениями в сессии (сюда включается поддержка системы сигнализации, применяемая для соединения пользователя) и административного управления системой (включает набор протоколов Layer и System Management).

Эталонная модель протокола B-ISDN (B-ISDN Protocol Reference model, BPRM) включает в себя четыре логических уровня:

- верхний уровень панелей пользователя, сигнализации и административного управления;
- уровень адаптации АТМ - (АТМ Adaptation Layer, AAL), включающий в себя подуровень конвергенции или слияния (Convergence Sublayer, CS), который в свою очередь может делиться на две части: общую (Common Part Convergence Sublayer, CPCS) и служебно-ориентированную (Service-Specific Convergence Sublayer, SSCS) и подуровень сегментации и сборки (Stgmentftion and Reassembly, SAR);
- уровень АТМ;
- физический, который подразделяется на подуровень конвергенции передачи (Transmission Convetrygence, TC) и подуровень, зависящий от физической среды (Phisical Medium, PM).

Три нижних уровня эталонной модели архитектуры BPRM образуют архитектуру ее **телекоммуникационной (транспортной) системы** или архитектуру модели собственно сети АТМ.

Проанализируем особенности логической и протокольной структуры инфокоммуникационной транспортной системы на технологии АТМ.

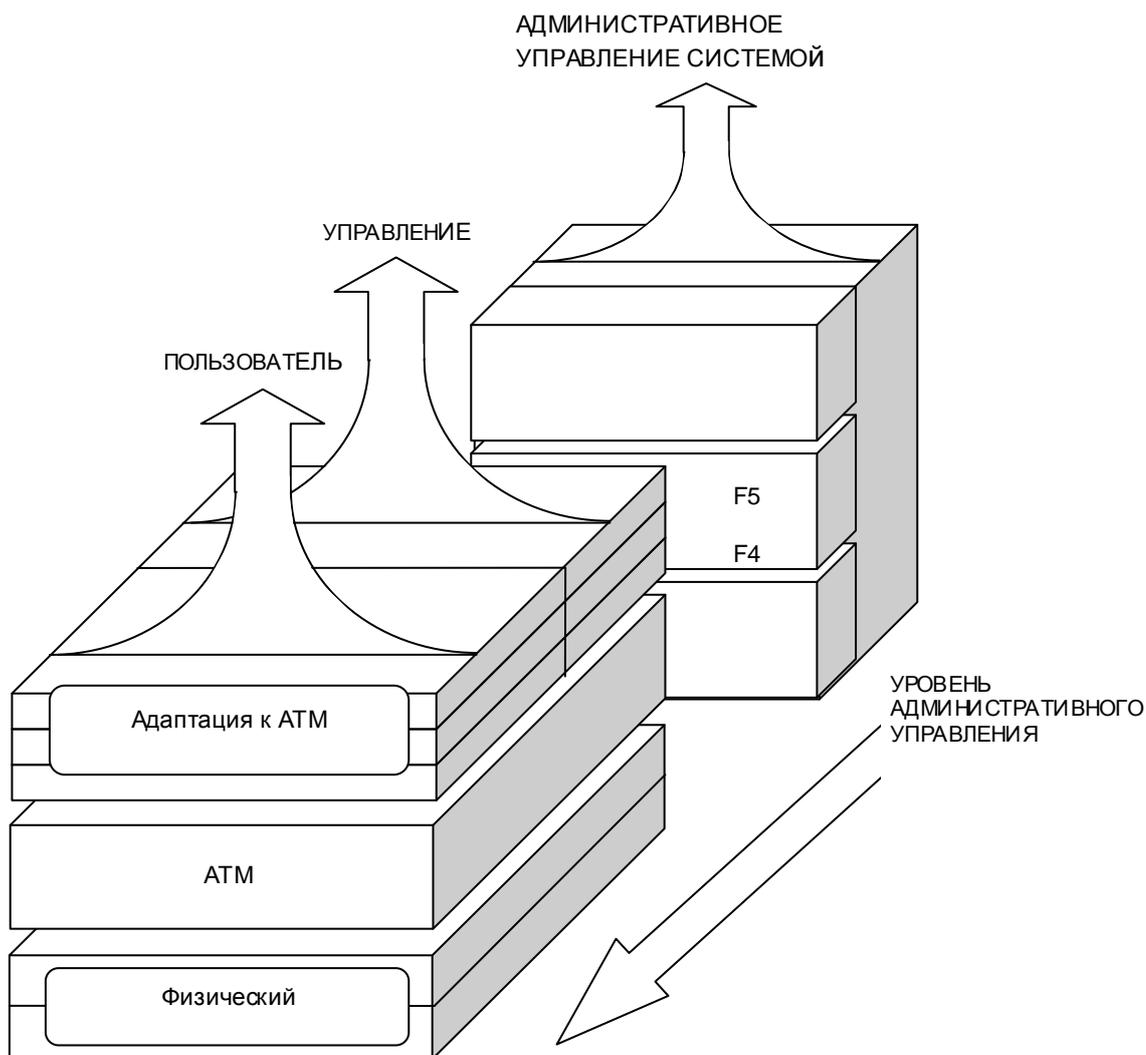


Рис. 2.3 – Функциональные плоскости эталонной модели протокола BPRM

Реализация сетевых функций и основных протоколов в модели BPRM приведена на рис. 2.4.

В архитектуре сети АТМ функциональная нагрузка **Т-уровня** возложена **на уровень адаптации АТМ** (AAL, ATM Adaptation Layer), который определяет и реализует одну из самых сложных функций сети – адаптацию функций уровня к требованиям передачи информационных потоков различной природы. Трансляция сигнальных сообщений в коммутаторе осуществляется через сигнальный уровень адаптации АТМ (S-AAL, Signaling AAL).

Программная структура модели архитектуры BPRM	Логическая структура модели архитектуры BPRM			
Q.2931, PNNI, B-ISUP (Q.2761/4)	Верхний уровень (службы сетевого менеджмента, сигнализации и службой пользователя) формирование сигнального запроса на установление QoS-соединения; функция управления резервированием сетевых ресурсов			
CPCS, SSCOP,	Уровень адаптации ATM (AAL) Подуровень конвергенции CS			
	<p>CS AAL1 (функция совмещения разнородного трафика («окраска» типа трафика заданной категорией обслуживания); управление резервированием сетевых ресурсов; установление, поддержание и разъединение транспортного QoS-канала; обеспечение изохронности передачи информации и др.)</p>	<p>CS AAL2 (функция совмещения разнородного трафика («окраска» типа трафика заданной категорией обслуживания); установление, поддержание и разъединение транспортного QoS-канала; восстановление синхронизации и компенсация джиттера на приеме и др.)</p>	<p>CS AAL3/4 (функция совмещения разнородного трафика («окраска» типа трафика заданной категорией обслуживания); установление, поддержание и разъединение транспортного QoS-канала; управление потоком и др.)</p>	<p>CS AAL5 (может рассматриваться как упрощенный вариант реализации аналогичного подуровня AAL3/4)</p>
	Уровень адаптации ATM (AAL) Подуровень сегментации и сборки SAR (реализация функции совмещения разнородного трафика; обработка приоритетов; поддержание синхронизации передатчика и приемника (для AAL1 и AAL2); мониторинг и контроль сохранения целостности последовательности поступления ячеек и др.)			

GCAC, CAC; GCRA (VSA, Leaky Bucket); GFC (QFC), EFCI, ER VS/VD; CLP, TDP, RED (WRED); WFQ (CBQ); CES	Уровень ATM <i>(функция контроля допустимости установления соединения; функция совмещения разнородного трафика (Tag); маршрутизация и ретрансляция ячеек ATM; управление потоком разнородного трафика; управление коммункационными ресурсами сети и др.)</i>
	Физический уровень ATM (PAL) <i>Подуровень конвергенции ТС (структурирование кадра (контейнера) или потока ячеек; формирование поля контроля ошибок в заголовке ячейки ATM и контроль ошибок на приеме; согласование скорости передачи ячеек)</i>
	Физический уровень ATM PAL. <i>Подуровень, зависящий от физической среды РМ (передача битового потока в конкретной физической среде; синхронизация источника и приемника сигналов; линейное кодирование и преобразование сигналов)</i>

Рис. 2.4 Реализация базовых сетевых функций и основных протоколов в модели архитектуры BPRM

Каждый подуровень конвергенции CS уровня адаптации ATM изначально ориентирован на транспортировку определенной инфоуслуги. Подуровни **конвергенции CS AAL** реализуют следующие основные функции:

- установление, поддержание и разъединение транспортного канала между портами коммутаторов ATM с предоставлением указанной категории обслуживания и требуемым QoS;
- «окраску» типа трафика заданной категорией обслуживания;
- формирование и выделение протокольного блока данных;
- восстановление синхронизации и компенсация джиттера на приеме (CBR, VBRrt),
- управление потоком и обеспечение повторной передачи потерянных или ошибочных данных переменной длины (для службы ABR) и др.

Основными функциями **подуровня сегментации и сборки SAR AAL** являются:

- сегментация и сборка протокольных блоков подуровня;
- реализация функции «совмещения» разнородного трафика путем «окраски» типом информации при формировании служебных полей протокольных блоков подуровня;

мониторинг и обработка одиночных ошибок в заголовках протокольных блоков подуровня или их индикация для подуровня конвергенции и др.

При установлении SVC оконечная система ATM формирует UNI-запрос и направляет его я через конкретный логический порт в коммутатор в плоскость сигнализации. Услуги сигнализации предоставляются оконечной системе между абонентским доступом и пограничным коммутатором по протоколу Q.2931 при поддержке служебно-ориентированного протокола Q.2110 с установлением соединений SSCOP соответствующего подуровня в S-AAL. Протокол SSCOP гарантирует правильную последовательность передачи служебных данных с обнаружением потерянных блоков и их повторную передачу (в случае необходимости). Для реализации протокола SSCOP используются зависящие от службы управляющие функции SSCF. Они координируют работу протокола SSCOP с более высокими уровнями протоколов сигнализации. UNI-запрос на установление соединения содержит адрес отправителя/получателя и параметры трафика и качества обслуживания.

Набор служебных сообщений, используемых на интерфейсе «пользователь-сеть», приведен в Рекомендациях ITU-T Q.2931. Все служебные сообщения, используемые на интерфейсе «пользователь-сеть» для установления, контроля и разъединения виртуальных соединений имеют общий формат и структуру. Выделение физических ресурсов сети производится на основе требований, которые пользователь должен указать в соответствующем разделе «содержимое ИЭ» поля «Информационный элемент сообщения» служебного сообщения спецификации интерфейса «пользователь-сеть». Для передачи сигнальной информации используются выделенная подсеть сигнализации (внеполосная передача) на базе отдельных виртуальных соединений, например, основанная на ОКС7.

Функцию *управления резервированием сетевых ресурсов* осуществляет сигнальный протокол спецификации частного интерфейса «сеть-сеть» PNNI.1 на основании комбинации параметров трафика и QoS, которые определяют дескриптор требуемого соединения.

Функция «совмещения» разнородного трафика на подуровне CS AAL реализуется выбором определенной службы при установлении виртуального соединения, а также адресами и/или номерами портов отправителя/получателя. Для этой цели могут использоваться также и номера сеансов. Выбор определенной службы на подуровне CS AAL в свою очередь предопределяет выбор соответствующего протокола обработки информации на этом подуровне, а также протокола обработки информации на подуровне сегментации и сборки SAR AAL на передающем и приемном концах транспортного канала для поддержания заданных QoS-норм передачи. Протоколы обработки информации на

подуровне конвергенции CS дифференцированы в зависимости от класса трафика.

На подуровне SAR AAL **функция «совмещения»** разнородного трафика вводится в явном виде и реализуется в служебных или управляющих полях заголовков сервисных примитивов соответствующих протоколов подуровня. Анализ функций подуровня SAR AAL позволяет сделать вывод, что он реализует всю функциональную нагрузку подуровня совмещения.

Поддержание необходимой точности **синхронизации** таймеров источника и получателя может быть реализовано двумя методами: методом синхронной остаточной временной метки (Synchronous Residual Time Stamp, SRTS) или методом адаптивной синхронизации таймеров (Adaptive Clock, AC).

Функции логического **уровня АТМ** формируют протокольный блок уровня (ячейку), а также устанавливают и поддерживают логический канал АТМ. Основные функции, которые обеспечивает уровень АТМ:

- функция контроля допустимости установления мультимедийного соединения;
- функция «совмещения» разнородного трафика;
- функция коммутации, которая включает в себя функции маршрутизации и ретрансляции ячеек;
- функция управления потоками разнородного трафика;
- функции концентрации и мультиплексирования нагрузки.

При получении UNI-запроса на установление SVC, входной коммутатор сети с помощью алгоритма маршрутизации PNNIv1.1. на основании комбинации параметров трафика и QoS рассчитывает оптимальный маршрут, после чего входной коммутатор создает транзитный список промежуточных коммутаторов (Designated transit list, DTL) и вкладывает этот список в сигнальный UNI-запрос, который направляется через сеть к коммутатору получателя по маршруту, указанному в списке DTL. До вычисления требуемого маршрута во входном коммутаторе производится учет параметров трафика с помощью алгоритма общего контроля за установлением соединения (Generic Connection Admission Control, GCAC). Цель учета – предварительная проверка параметров трафика всех доступных соединений маршрута. Алгоритм GCAC имеет две формы реализации: простую и комплексную. Простой алгоритм GCAC учитывает только доступную пропускную способность (Available Cell Rate, AvCR), при установлении нового соединения любой категории обслуживания, кроме UBR. Комплексный алгоритм GCAC задействуется только при установлении CBR- и VBR-соединений и учитывает дополнительные динамические параметры-атрибуты. При установлении соединения могут быть последовательно сформированы несколько DTL. В случае многоуровневой маршрутизации узел-источник выбирает иерархически полный маршрут от источника,

который реализуется как последовательность DTL, упорядоченных от самого нижнего к самому высокому уровню домена и организован в виде стека. DTL в вершине стека соответствует домену самого нижнего уровня.

На каждом коммутаторе маршрута передачи вызова осуществляется процедура **контроля допустимости установления соединения САС**. Основываясь на качественных и количественных параметрах нового соединения, описанных в дескрипторе трафика, алгоритм САС должен вычислить размер полосы пропускания для агрегированного потока (с учетом устанавливаемого соединения), которую необходимо для него зарезервировать (указывается в дескрипторе или ассоциируется с выбранной службой по умолчанию). Она называется «эффективная полоса пропускания» (Effective Bandwidth или Equivalent Bandwidth или Equivalent Capacity). Задача определения значения параметра «эффективная полоса пропускания» является нетривиальной и остается нерешенной. Значение параметра «эффективная полоса пропускания» должно быть выбрано как значение минимальной полосы пропускания (скорости обслуживания), удовлетворяющее критерию допуска соединения, а в качестве критерия допуска соединения выбирается вероятность переполнения буферов сквозного соединения (или другими словами, вероятность потери пакета в тракте передачи) ε . Отметим, что функция распределения вероятностей мультиплексированного или агрегированного потока на каждом узле сети является сверткой функций распределения вероятностей этих потоков. В качестве критерия допуска установления соединения также может использоваться время ожидания и/или другие качественные характеристики. Если ресурсов достаточно, то их необходимая часть резервируется за соединением и во входных модулях коммутатора *формируется таблицы коммутации* с указанием входных/выходных значений VCI/VPI и адресов портов. Кроме того, механизмом САС там же записываются параметры процедур UPC/UNC, т. е. осуществляется *параметризация потока*.

При недостаточности ресурсов включается механизм блокировки (Crashback). При этом вызов блокируется и возвращается обратно в граничный узел домена, который создал необслуженный DTL, с указанием причины блокировки. Граничный узел может выбрать альтернативный маршрут в обход заблокированных узлов или линий, который должен включать все ранее сформированные DTL более высоких уровней, т. е. при блокировке вызова на маршруте первого выбора появляется «сброшенная» нагрузка, которая может распределяться по вычисленным путям 2-го, 3-го и т. д. выбора.

В режиме установленного соединения коммутаторы **ретранслируют ячейки** из входного порта в исходящий порт, т. е. функционируют как мосты. Процесс ретрансляции ячеек по сети характеризуется количеством

потерянных ячеек (из-за ошибок в заголовке и/или переполнения буферов) и временем задержки передачи.

На уровне АТМ функция *«совмещения»* разнородного трафика вводится неявно. Поскольку в режиме установленного соединения параметры QoS не содержатся в заголовке ячейки, для этой цели на уровне АТМ могут использоваться значения индикаторов виртуальных каналов и виртуальных путей. Информация о параметрах QoS может также размещаться во внутренних дескрипторах маршрутизации (Tag), которыми входные модули (адаптеры) дополняют каждую ячейку для передачи ячеек внутри коммутатора АТМ (Tag удаляются выходными модулями). В коммутаторах АТМ реализуется стратегия приоритетного обслуживания трафика, основанная на категориях служб каждого виртуального соединения. «Окраска» трафика при установлении виртуального соединения (категорией службы, значением идентификаторов VPI/VCI, адресами портов, дескриптами Tag) позволяет явным способом назначить приоритет его обслуживания в сессии (при неявном назначении приоритетов коммутатор автоматически присваивает службам соответствующие уровни приоритетов, исходя из заданных пользователем или администратором сети критериев, например, по адресам источника или адресата). В настоящее время выбор и реализация алгоритмов предоставления полосы пропускания остается за производителями коммутаторов. В любом случае, уровень приоритета определяется типом выбранной категории обслуживания и параметрами качества обслуживания. На уровне АТМ интерфейсы UNI и NNI специфицированы соответствующими форматами ячеек АТМ.

Форум АТМ не вводит свои спецификации на реализацию физического уровня. Поток ячеек, сгенерированный на уровне АТМ, может быть передан практически по любой существующей или будущей цифровой системе передачи. Методы передачи сигналов зависят от требуемой скорости передачи и типа используемой физической среды, т.е. в качестве физического уровня сетью АТМ может быть использована любая цифровая система передачи, а технология АТМ, являясь основой реализации предлагаемых услуг, призвана оптимизировать ее применение.

2.3. Принцип уровневой иерархии МСС

Пусть задана ЦТМСС, топология которой описывается графом $G=(I,J)$, где I – множество вершин мощности $N=|I|$, $J \subseteq I \times I$ – множество ребер $ij \in J$ рис.2.5. Вершины графа $i \in I$ соответствуют узлам коммутации (УК) сети, в качестве которых могут выступать маршрутизаторы или коммутаторы. Любая пара узлов сети может обмениваться информацией [14]. Не теряя общности, будем полагать, что на вход сети в рамках мультимедийного соединения поступают потоки двух классов: речевой поток класса A или B и интерактивные данные класса C . Таким образом, в рамках единой сессии перенос

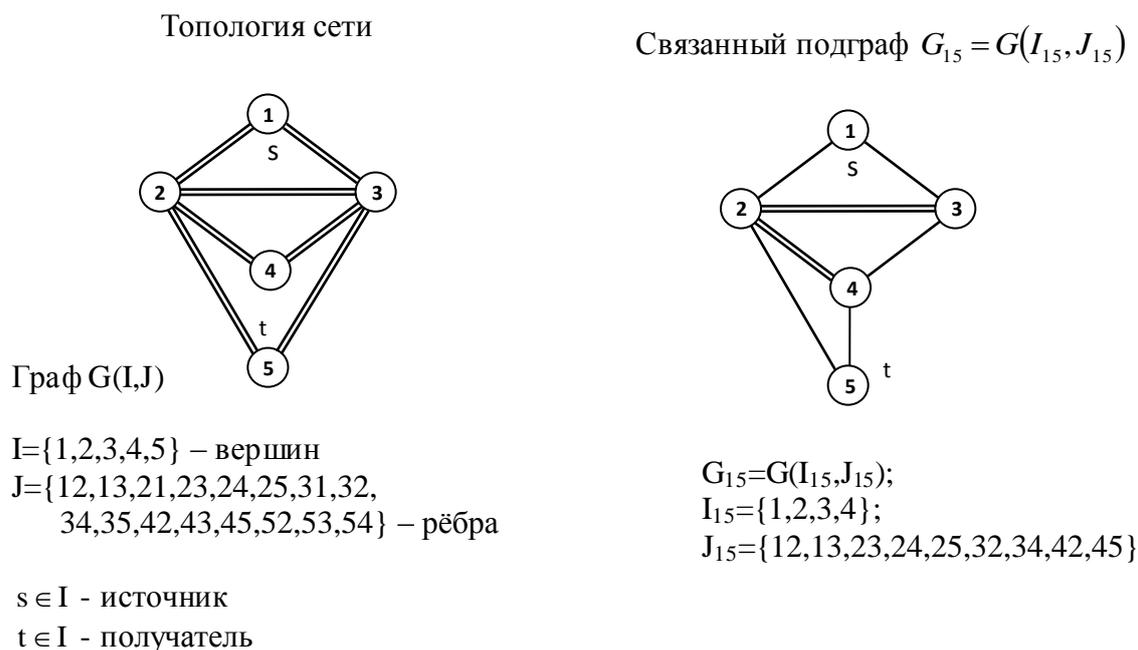


Рис. 2.5. Построение связанного подграфа $G_{15}=G(I_{15},J_{15})$ на графе $G_{15}=G(I_{15},J_{15})$

мультимедийных объектов связан с функционированием двух приложений, которые порождают в совокупности многокомпонентный информационный поток. При этом будем полагать, что каждая компонента этого потока функционирует в сессии независимо друг от друга, но ограничена ее длительностью. В графе $G=(I,J)$ выделяются две вершины $s \in I$ – источник и $t \in I$ – получатель и на нем строится связанный подграф $G_{st}=(I_{st},J_{st})$. Объемные величины входных мультимедийных потоков заданы в виде матриц $\hat{Y}^{multy} = \|\hat{a}_{st}^{multy}\|$ (Эрл). Здесь $\hat{Y}^{multy} = Y^{multy} (1-b^{multy})$ – пропущенная мультимедийная нагрузка, b^{multy} – заданная вероятность потерь мультимедийного вызова, $\hat{a}_{st}^{multy} = a_{st}^{multy} (1-b_{st}^{multy})$ – мультимедийная нагрузка, пропущенная в тракт $st \in S$. Все пары st , для

которых $a_{st}^k \neq 0$, образуют множество корреспондирующих пар S^k мощности $\Omega = |S^k|$. Каждое ребро графа $ij \in J$ моделирует междуузловой линейно-цифровой тракт (ЛЦТ) связи и ему поставлена в соответствие величина V_{ij} – скорость передачи (бит/с) и P_{ij} – вероятность ошибки в тракте.

Считаем, что топология сети не изменяется и входные потоки стационарны, для каждой пары $st \in S^k$ определено несколько статических путей в подграфе $G_{st} = (I_{st}, J_{st})$, необязательно совпадающих для различных потоков мультимедийного соединения. Мультимедийный трафик между трактами $st \in S^k$ в рамках единой транспортной услуги может быть распределен в сессии по нескольким путям в фиксированных во времени определенных пропорциях.

Введем следующие обозначения: $\widehat{l}_{st,m}^k = \{si_1, i_1i_2, \dots, i_{p-1}t\}_{st,m}^k$ – путь m -го выбора ($m = 1, M_{st}^k$) длины P для пары $st \in S^k$ с упорядоченными ребрами относительно источника $s \in I_{st}$. Корневое дерево $R_{st}^k = \{\widehat{l}_{st,m}^k, m = 1, M_{st}^k\}$, которое в общем случае может быть поддеревом дерева всех путей из s в t . Множество ребер $l_{st,m}^k = \{ij \in J : ij \in \widehat{l}_{st,m}^k\}$ моделирует путь m -го выбора $\widehat{l}_{st,m}^k$ мощности $r_{st,m}^k = |M_{st,m}^k|$. В общем случае $\prod_{m=1}^{M_{st}^k} r_{st,m}^k \neq 0$. Будем считать, что маршруты передачи изохронного трафика независимы.

Корневое дерево путей R_{st}^k лежит в основе построения последовательно-параллельной схемы путей L_{st}^k , моделирующих маршруты передачи мультимедийных потоков в сессии. Построение схемы мультимедийных соединений осуществляется с помощью «расклеивания» общих транзитных узлов дерева R_{st}^k по разным путям L_{st}^k и «склеивания» висячих вершин $t \in I_{st}$ в один узел. Каждый пакет при его вводе в сеть в сессии с глобальной вероятностью $P_{st,m}^k$ направляется в m -й путь, выбранный на фазе установления соединения из множества L_{st}^k . $\sum_{m=1}^{M_{st}^k} P_{st,m}^k = 1$ для $\forall st \in S^k$ (рис. 2.6).

Такая процедура маршрутизации является частным случаем общей процедуры, когда в каждом УК для пакета между парой $st \in S^k$ выбирается исходящий тракт ЛЦТ $ij \in J$ с локальной вероятностью P_{ij}^k . При этом $P_{st,m}^k = \prod_{ij \in \widehat{l}_{st,m}^k} P_{ij}^k$ для $\forall st \in S^k$.

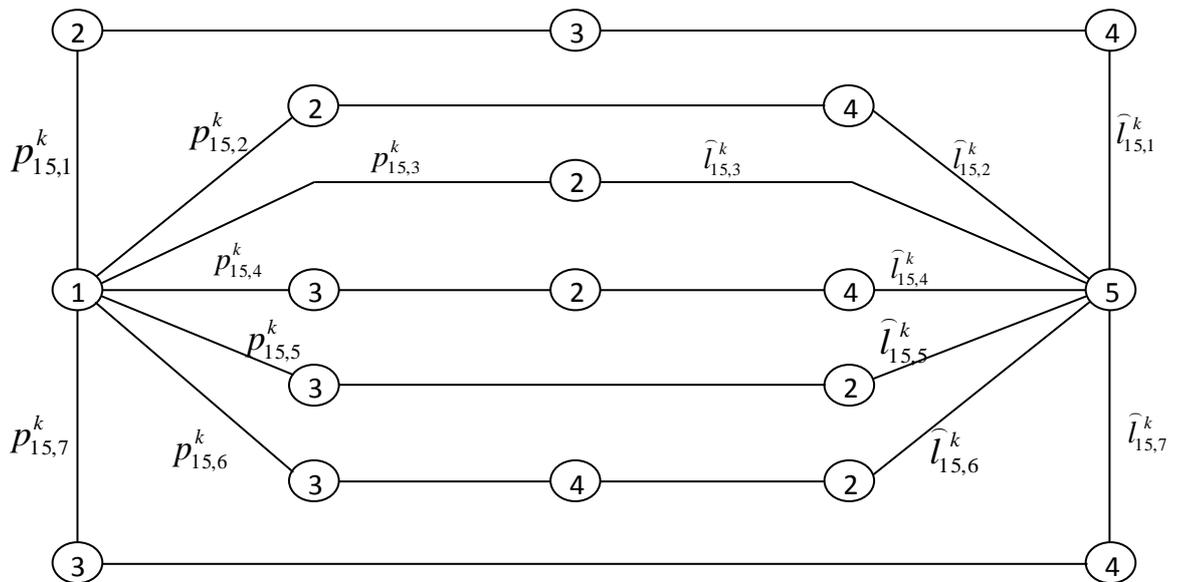


Рис. 2.6. Пример организации параллельно-последовательных схем L_{15}^k на связном подграфе $G_{15}=G(I_{15},J_{15})$

Функционирование ИТС в виду их сложности можно описать комплексом моделей, отражающих работу иерархически разделенных сетевых функций, сгруппированных в логически завершённые функциональные группы задач (логические уровни или логические подсистемы) ее архитектуры. При построения моделей функционирования ИТС для учета вертикальной взаимообусловленности и соподчиненности уровневой организации их логических структур предлагается использовать принцип иерархии, который *определяет* тип структурных отношений в сложных многоуровневых системах, характеризуемых упорядоченностью, организованностью взаимодействий между отдельными уровнями по вертикали, позволяющий разложить систему по парам «отправитель-получатель» и учесть в рамках единой модели всю протокольную вертикаль логических соединений, поддерживающих мультимедийную сессию.

В рамках этого подхода эффективность функционирования ИТС в режиме установленного соединения предлагается оценивать с помощью набора уровневых функционалов $K_{h,ij}^k$ оценки эффективности использования пропускной способности системы трафиком k -го класса, которые определяют требуемую долю пропускной способности V_{ij} линейно-цифрового тракта (ЛЦТ) для организации мультимедийного соединения (здесь индексами обозначены: h - соответствующий уровень архитектуры ИТС, т. е. на транспортном уровне сеть выступает как набор трактов переноса многокомпонентных потоков в рамках единой мультимедийной сессии. При этом указанные функционалы зависят не только от необходимой для их работы служебной информации соответствующих объемов, но и от протоколов функционирования отдельных уровней архитектуры ИТС, поддерживающих

соответствующие службы. Ясно, что при их построении необходимо учитывать также, что использование ЛЦТ пакетами данных зависит от их загрузки речевыми пакетами, обслуживаемых в системе с абсолютным приоритетом. Поэтому критерий эффективности K_{ij}^C использования ЛЦТ пакетами данных будет зависеть от параметров критерия эффективности K_{ij}^B использования ЛЦТ речевыми пакетами, т. е. носит выраженный условный характер. С учетом указанных предположений оптимизацию предложенных функционалов можно проводить поэтапно, оптимизируя сначала использование ЛЦТ речевым трафиком, а затем вычисляя максимум функционала K_{ij}^C использования ЛЦТ трафиком данных при условии, что параметры K_{ij}^B оптимальны и фиксированы. Согласно логической структуре ИТС комплексные функционалы K^k должны «расслоиться» на отдельные уровневые функционалы. Аналогичный подход был предложен для построения комплексного критерия эффективности ТС цифровых сетей с интеграцией служб [23] и апробирован также при построении комплексных критериев эффективности ИТС на технологиях IP-QoS и ATM [14].

В силу относительной независимости уровней архитектуры и вложенности протокольных блоков (уровневых примитивов) верхних уровней архитектуры ИТС в информационное поле протокольных блоков нижележащих уровней функционалы $K_{h,ij}^k$ обладают мультипликативным свойством. В этой связи критерий эффективности использования пропускной способности ЛЦТ трафиком k -го класса q -го типа

$$K_{ij}^k = \prod_h K_{h,ij}^k, \quad (2.13)$$

На примере эталонной модели ВОС заметим, что в $h=1$ соответствует физическому Ph -уровню, $h=2$ – каналному L -уровню, а $h=3$ – сетевому N -уровню. В (2.13) учитываются только уровни, расположенные ниже сетевого, так как протоколы T -уровня функционируют для транспортных соединений определенного класса трафика, включающих совокупность трактов маршрута.

Обозначим через $K_{st,m}^k$ – критерий эффективности использования m -го виртуального пути из множества $L_{st}^{k_p}$ трафиком k -го класса. Этот функционал можно трактовать как коэффициент передачи системы, составленной из цепочки каналов $ij \in I_{st,m}^k$ заданной пропускной способности. С учетом чистой ретрансляции пакетов через указанную систему (на выходе системы ослабления входного сигнала не происходит) $K_{st,m}^k$ можно представить в виде среднегеометрического составляющих его критериев эффективности ЛЦТ K_{ij}^k [24]:

$$K_{st,m}^k = K_T^{r_{st,m}^k} \sqrt{\prod_{ij \in l_{st,m}^{k,q}} K_{ij}^k}, \quad (2.14)$$

где K_T^k – критерий, учитывающий эффективность использования пропускной способности ЛЦТ трафиком k -го класса на транспортном уровне.

В силу того, что транспортное виртуальное соединение может быть организовано между парой $st \in S^k$ по нескольким виртуальным путям, выражение для общего критерия эффективности использования всех транспортных соединений трафиком k -го класса имеет следующий вид:

$$K_{st}^k = \sum_{m=1}^{M_{st}^k} P_{st,m}^k K_T^{r_{st,m}^k} \sqrt{\prod_{ij \in l_{st,m}^k} K_{ij}^k}, \quad (2.15)$$

С учетом того, что весовой коэффициент соединений на транспортном уровне между парой $st \in S^k$ определяется долей входящего потока k -го типа \hat{a}_{st}^k в общем входящем сетевом потоке в рамках всей поступающей мультимедийной сетевой нагрузки $Y^{multy} = \sum_{st \in S^k} \hat{a}_{st}^k$, сетевой критерий эффективности использования пропускной способности системы трафиком k -го класса q -го типа имеет вид

$$K^k = r^k \sqrt{\sum_{st \in S^k} \frac{\hat{a}_{st}^k}{Y^{multy}} (K_{st}^k)^{r^k}}, \quad r^k = |S^k|, \quad (2.16)$$

Функционал подобного типа обладает свойством $\lim_{q \rightarrow \infty} K^k = \max_{st \in S^k} K_{st}^k$, что не дает явного преимущества транспортным соединениям с большими весовыми коэффициентами [24].

Построенный критерий эффективности ИТС отображает основное назначение системы исходя из цели проектирования и позволяет произвести его оценку в количественной и численной форме в режиме установленного соединения. При этом он имеет четкий физический смысл, чувствителен к основным варьируемым параметрам ИТС, что позволяет определить наиболее рациональные их характеристики, а также обеспечивает сравнение различных вариантов построения для выбора наиболее рационального при заданных условиях проектирования. Выражение (2.16) в общем виде представляет собой системную модель инфотелекоммуникационной системы.

Модели логических мультимедийных соединений, используя принцип иерархии, могут быть представлены в виде функциональных зависимостей требуемой пропускной способности системы для переноса

мультимедийного трафика от соответствующих критериев эффективности ИТС [14]. Так, например, модели уровневых логических соединений k -го класса даются выражением

$$V_{h,ij}^{\min k} = V_{ij} K_{h,ij}^k, \quad (2.17)$$

2.3.1. Формализация критериев эффективности ИТС-IP-QoS

2.3.1.1. Критерий эффективности транспортного уровня ИТС-IP-QoS

Согласно модели архитектуры ИТС на технологии IP-QoS комплексный критерий эффективности ИТС K_{ij}^k должен «расслоиться» на уровневые критерии $K_{h,ij}^k$ h -х уровней ее логической структуры: транспортного, межсетевого и сетевых интерфейсов. Здесь $h=1$ соответствует физическому уровню, $h=2$ – уровню сетевого интерфейса, $h=3$ – уровню межсетевого взаимодействия IP, а $h=4$ – транспортному уровню уточненной логической структуры архитектуры DARPA-QoS.

В сессии фрагменты активной речи, видео- и/или сообщения данных поступают на транспортный уровень сетевых драйверов мультимедийных терминалов и/или серверов инфоуслуг сети. При поступлении информационных массивов в порт маршрутизатора и/или конечной системы программы управления передачей транспортного уровня формирует соответствующие протокольные блоки (сегменты) из неструктурированного потока трафика класса B и данных класса C . При установлении транспортного канала пользователь обслуживается через конкретный логический порт. Введем следующие дополнительные обозначения: β^C - коэффициент, учитывающий механизм организации обратной связи на транспортном уровне (для протокола TCP) с целью защиты от ошибок блоков данных класса C ; H_{TCP} — длина заголовка TCP-блока данных, бит; H_{UDP} — длина заголовка UDP-блока данных, бит; H_{IP} — длина IP-заголовка, бит; H_{NA} — длина заголовка протокольного блока сетевого интерфейса бит; τ^{Bp} — средняя длительность активного фрагмента речевого трафика B -класса, с; s^{Cp} — средняя длина сообщения данных на транспортном уровне, включая связной заголовков транспортного уровня, бит; N^{Bp} — среднее число информационных частей речевого пакета в активном речевом фрагменте на транспортном уровне; N^{Cp} — среднее число информационных частей пакета данных в сегменте данных на транспортном уровне; L^{Bp} — длина пакета речевого трафика B -класса, бит; L^{Cp} — длина пакета данных, бит.

Плотность «набивки» полезной нагрузкой информационных полей протокольных блоков транспортного уровня учитывают

соответствующие коэффициенты использования пропускной способности ЛЦТ на этих подуровнях:

$$\frac{s^{Bp}}{N^{Bp}(L^{Bp} - H_{IP})}; \frac{s^{Cp}}{N^{Cp}(L^{Cp} - H_{IP})}.$$

Критерий эффективности транспортного уровня K_{TCP}^{Cp} учитывает также особенность работы протокола *TCP* при организации защиты от ошибок трафика класса *C*, на которую также затрачивается часть пропускной способности ЛЦТ. Эти потери оцениваются множителем β^c . Отметим, что чем длиннее нарезаемая порция информации, тем больше в среднем передается отрывков пауз между речевыми фрагментами или сообщениями данных. При уменьшении этой порции эффективность использования ЛЦТ передачи снижается за счет увеличения служебной избыточности, переносимой по каналам связи в заголовках протокольных блоков уровня.

Таким образом, с учетом введенных предположений выражения для уровневых функционалов K_{TCP}^{Cp} и K_{UDP}^{Bp} транспортных логических соединений имеют следующий вид (протокольной избыточностью, вносимую заголовками уровневых примитивов в *C*-сообщении и *B*-речевом фрагменте, мы пренебрегаем):

$$K_{UDP}^{Bp} = \frac{s^{Bp}}{N^{Bp}(L^{Bp} - H_{IP})}, \quad (2.18)$$

$$K_{TCP}^{Cp} = \frac{s^{Cp}}{N^{Cp}(L^{Cp} - H_{IP})} \beta^c. \quad (2.19)$$

2.3.1.2. Критерий эффективности межсетевого уровня

Поддержка мультимедийного логического транспортного соединения может осуществляться либо несколькими логическими соединениями межсетевого уровня для каждого класса трафика, либо одним мультиплексным логическим соединением в определенном классе, поддерживающим несколько типов соединений.

Для формализации логических соединений межсетевого уровня введем следующие обозначения: ρ_{ij}^{Bp} и ρ_{ij}^{Cp} - коэффициенты загрузки межсетевого уровня соответственно речевыми *B*-пакетами и пакетами данных класса *C*. Указанные коэффициенты учитывают динамику очередей разнородных пакетов на межсетевом уровне, так как даже наличие абсолютного приоритета для речевых пакетов не исключает очередей пакетов указанного класса трафика на маршрутизаторе,

принадлежащих различным речевым соединениям. Часть пропускной способности ЛЦТ, которая тратится на служебную информацию, вводимую межсетевым уровнем для всех классов трафика, можно оценить так: $\frac{L^{kp} - H_{IP}}{L^{kp}}$. Таким образом, критерии эффективности использования пропускной способности ЛЦТ разнородным трафиком на межсетевом уровне с учетом коэффициентов загрузки речевыми пакетами ρ_{ij}^{Bp} и пакетами данных ρ_{ij}^{Cp} , которые учитывают динамику очередей на этом уровне (через указанные коэффициенты в задачах анализа сети учитывается интенсивность потока поступления пакетов в транспортный канал и интенсивность их обслуживания) соответственно

$$K_{ij,IP}^{Bp} = \frac{L^{Bp} - H_{IP}}{L^{Bp}} \rho_{ij}^{Bp}, \quad (2.20)$$

$$K_{ij,IP}^{Cp} = \frac{L^{Cp} - H_{IP}}{L^{Cp}} \rho_{ij}^{Cp} \quad (2.21)$$

2.3.1.3. Критерий эффективности уровня сетевого доступа

Критерии эффективности использования пропускной способности ЛЦТ разнородным трафиком на уровне сетевых интерфейсов имеют вид

$$K_{ij,NA}^{Bp} = \frac{L^{Bp}}{L^{Bp} + H_{NA}}, \quad (2.22)$$

$$K_{ij,NA}^{Cp} = \frac{L^{Cp}}{L^{Cp} + H_{NA}}. \quad (2.23)$$

Не нарушая общности рассуждений в дальнейшем будем полагать, что для Рn-уровня $K_{ij,1}^{Bp} = K_{ij,1}^{Cp} \cong 1$. Формирование уровневых функционалов использования пропускной способности ИТС в архитектуре *DARPA* приведен в таблице 2.1.

Таблица 2.1 - Формирование уровневых функционалов использования пропускной способности ИТС для незащищенных логических соединений в уточненной архитектуре *DARPA*

Уровень архитектуры DRPA	Структура протокольного блока	Уровневый функционал	
		Обозначение	Структура
Верхний	s^{Bp}, s^{Cp} сообщение, речевой		

	фрагмент		
Транспортный (ТСР)	$L^{kp} - H_{IP}$	$K_{UDP}^{Bp}, K_{TCP}^{Cp}$	$\frac{s^{Bp}}{N^{Bp}(L^{Bp} - H_{IP})}, \frac{s^{Cp}}{N^{Cp}(L^{Cp} - H_{IP})} \beta^C$
Межсетевого взаимодействия (IP)	L^{kp} -----,----- $L^{kp} - H_{IP}, H_{IP}$	$K_{ij,IP}^{Bp}, K_{ij,IP}^{Cp}$	$\frac{L^{Bp} - H_{IP}}{L^{Bp}} \rho^{Bp}; \frac{L^{Cp} - H_{IP}}{L^{Cp}} \rho^{Cp}$
Сетевого интерфейса (NA)	$L^{kp} + H_{NA}$ -----,-- L^{kp}, H_{NA}	$K_{ij,NA}^{Bp}, K_{ij,NA}^{Cp}$	$\frac{L^{Bp}}{L^{Bp} + H_{NA}}; \frac{L^{Cp}}{L^{Cp} + H_{NA}}$

Примечание. В таблице 2.1 -----,----- (обозначение протокольного блока уровня, включающий сервисный блок данных вышележащего уровня и управляющую служебную информацию уровня –заголовков).

2.3.1.4. Комплексный критерий эффективности инфотелекоммуникационных транспортных систем на технологии IP-QoS

Выражения для комплексных критериев эффективности использования ЛЦТ соответственно трафиками классов В и С в режиме установленного соединения в ИТС-П на технологии IP-QoS:

$$K_{ij}^{Bp} = \frac{s^{Bp} \rho_{ij}^{Bp}(L^{Bp})}{N^{Bp}(L^{Bp} + H_{NA})}, \quad (2.24)$$

$$K_{ij}^{Cp} = \frac{s^{Cp} \rho_{ij}^{Cp}(L^{Bp}, L^{Cp}, \rho_{ij}^{Bp})}{N^{Cp}(L^{Cp} + H_{NA})}, \quad (2.25)$$

Видно, что критерии эффективности использования ЛЦТ для данных уже на двух нижних уровнях архитектуры DARPA носит условный характер, так как величины ρ_{ij}^{Cp} зависят от длин речевых пакетов и удельной загрузки ЛЦТ речевыми В-пакетами; T_{ij}^{Cp} – заданное среднее время пребывания С-пакета в ЛЦТ.

Выражение для общих критериев эффективности K_{st}^{Bp} и K_{st}^{Cp} использования транспортных соединений трафиками классов В и С имеют следующий вид:

$$K_{st}^{Bp} = \sum_{m=1}^{M_{st}^{Bp}} p_{st,m}^{Bp} \frac{s^{Bp}}{N^{Bp}(L^{Bp} + H_{NI})} \sqrt[r_{st,m}^{Bp}]{\prod_{ij \in I_{st,m}^{Bp}} \rho_{ij}^{Bp}(L^{Bp})},$$

$$K_{st}^{Cp} = \sum_{m=1}^{M_{st}^{Cp}} p_{st,m}^{Cp} \frac{s^{Cp} \beta_{ij}^{Cp}(L^{Cp}, p_{ou})}{N^{Cp}(L^{Cp} + H_{NI})} \sqrt[r_{st,m}^{Cp}]{\prod_{ij \in I_{st,m}^{Cp}} \rho_{ij}^{Cp}(L^{Bp}, \rho_{ij}^{Bp}, L^{Cp})}. \quad (2.26)$$

Общесетевые комплексные критерии эффективности использования пропускной способности пакетной ИТС произвольной топологии трафиками классов B и C даются соответственно выражениями

$$K^{Bp} = r^{Bp} \sqrt{\sum_{st \in S^{Bp}} \frac{\hat{a}_{st}^{Bp}}{Y^{multy}} (K_{st}^{Bp}) r^{Bp}}, K^{Cp} = r^{Cp} \sqrt{\sum_{st \in S^{Cp}} \frac{\hat{a}_{st}^{Cp}}{Y^{multy}} (K_{st}^{Cp}) r^{Cp}}. \quad (2.27)$$

Функциональные зависимости (2.27) представляют собой системную формализацию процессов переноса мультимедийного трафика в ИТС IP-QoS в рамках предоставления инфокоммуникационной услуги связи с заданными QoS-нормами в режиме установленного соединения. В (2.27) \hat{a}_{st}^{kp} – пропущенная нагрузка k -го класса в направлении $st \in S^{kp}$; $Y^{multy} = \sum_k Y^k$;

$$Y^{kp} = \sum_{st \in S^{kp}} \hat{a}_{st}^{kp}; \quad \hat{a}_{st}^{kp} = \frac{Mark^k}{3600c} y^{multy} \cdot t^{multy} b_{st} \quad (\text{Эрл}), \quad y^{multy} - \text{интенсивность}$$

мультимедийных вызовов (вызов/час); t^{multy} – средняя длительность мультимедийного соединения, с; b_{st} – потери мультимедийного вызова на направлении $st \in S^k$; Θ^{\min} – базовая минимальная ширина полосы

пропускания (бит/с); $Mark^k = \sum_{q=1}^Q \left[\frac{v_q^k}{\Theta^{\min}} \right]$ – суммарная марка трафика, требуемых для обслуживания всех пользователей k -го класса в тракте $ij \in J$; v^k – скорость работы оконечного устройства (бит/с); Q – общее количество мультимедийных оконечных устройств.

2.3.2. Формализация критериев эффективности ИТС-АТМ

2.3.2.1. Построение критерия эффективности уровня адаптации АТМ

Протокольные блоки PDU подуровней конвергенции (сообщения данных либо речевые фрагменты) и сегментации и сборки (48-байтные сегменты) AAL формируют соответственно программы управления передачей и программы управления сегментацией и сборкой. Причем содержание и количество служебных полей PCI в них зависит от конкретного типа адаптационного уровня. Элементы программной структуры AAL, как и транспортные протоколы большинства пакетных сетевых технологий, функционируют только в оконечных точках сети АТМ. При поступлении информационных массивов в порт коммутатора АТМ каждая программа управления передачей на подуровне конвергенции AAL формирует соответствующие протокольные блоки из активных сегментов трафика класса A и/или B , а также блоков сообщений данных.

Введем следующие обозначения: Здесь и далее будем также обозначать: индексом k класс нагрузки A, B, C с указанием типа ИТС (p - пакетная в технологии ATM; g - гибридная в технологии ATM). Здесь h - номер соответствующего уровня архитектуры сети ATM ($h=1$ соответствует подуровню, зависящему от физической среды физического уровня модели ATM, $h=2$ – подуровню конвергенции физического уровня, $h=3$ – уровню ATM, $h=4$ - подуровню сегментации и сборки AAL, $h=5$ - подуровню конвергенции AAL). L^k - длина сегмента подуровней сегментации и сборки SAR AAL1, AAL2, AAL3/4 (AAL5), бит; H_{SAR}^{CBR} , H_{SAR}^{VBRrt} - длина служебных полей речевого сегмента подуровня сегментации и сборки соответственно на AAL1 для службы CBR и службы VBRrt на AAL2, бит; H_{SAR}^{ABR} - длина служебной части сегмента данных подуровня сегментации и сборки на AAL3/4 (AAL5) для служб ABR, бит; H_{ATM} - длина заголовка служебной части ячейки уровня ATM, бит; H_{TS} - длина заголовка PCI подуровня конвергенции физического уровня ATM, бит; H_{PM} - избыточность PCI, вносимая в ЛЦГ подуровнем, зависящим от физической среды, бит; $\tau^{A(B)}$ - средняя длительность активного речевого фрагмента на подуровне конвергенции AAL1, AAL2, с. Средняя длина активного речевого фрагмента равна $s^{A(B)} = \tau^{A(B)} v_r^{A(B)}$, бит; $s^{Cp(g)}$ - средняя длина пачек сообщений данных, обслуживаемых в режиме ABR, на подуровне конвергенции AAL3/4 (AAL5), включая избыточность служебной части протокольных блоков подуровня, бит; N^A , N^B - среднее число информационных частей речевых сегментов (протокольных блоков подуровня сегментации и сборки) на подуровне конвергенции AAL1(AAL2) в активном речевом фрагменте; $N^{Cp(g)}$ - среднее число информационных частей сегментов данных протокольного блока подуровня сегментации и сборки в пачках сообщений данных, обслуживаемых в режимах ABR, на подуровне конвергенции AAL3/4 (AAL5). $\beta_{st}^{Cp(g)}$ - коэффициент, учитывающий потери пропускной способности ЛЦГ на защиту от ошибок ячеек данных класса C, обслуживаемых в режиме ABR при организации межконцевой обратной связи в ЛЦГ (end-to-end) на уровне AAL. Поскольку поврежденные ячейки классов A и B не переспрашиваются, то соответствующие коэффициенты $\beta^A = \beta^{Bp(g)} = 1$.

Плотность «набивки» полезной нагрузкой информационных полей протокольных блоков подуровней конвергенции CS AAL, учитывают соответствующие функционалы K_{csAAL}^k :

$$K_{ij,csAAL}^A = \frac{s^A}{N^A (L^A - H_{SAR}^{CBR})}, K_{ij,csAAL}^{Bp(g)} = \frac{s^{Bp(g)}}{N^{Bp(g)} (L^{Bp(g)} - H_{SAR}^{VBRrt})};$$

$$K_{ij,csAAL}^{Cp(g)} = \frac{s^{Cp(g)}}{N^{Cp(g)}(L^{Cp(g)} - H_{SAR}^{ABR})} \beta^{Cp(g)}, \quad (2.28)$$

Кроме того на этом подуровне коэффициент $K_{ij,csAAL}^{Cp(g)}$ учитывает также особенность работы службы *ABR* при организации защиты от ошибок трафика класса *C* «из конца - в конец» в *ABR*-канале $st \in S^k$, на которую также затрачивается часть пропускной способности ЛЦТ. Эти потери оцениваются множителем $\beta_{st}^{Cp(g)}$. Отметим, что в общем случае, чем длиннее «нарезаемая порция» информации, тем больше в среднем передается отрывков пауз между речевыми фрагментами или сообщениями данных. При уменьшении этой порции эффективность использования ЛЦТ передачи снижается за счет увеличения служебной избыточности, переносимой по каналам связи в заголовках протокольных блоков уровня. Избыточность, вносимую служебными полями соответствующих протокольных блоков подуровней сегментации и сборки AAL, в ЛЦТ оценивают функционалы

$$K_{ij,4}^A = \frac{L^A - H_{SAR}^{CBR}}{L^A}, \quad K_{ij,4}^{Bp(g)} = \frac{L^{Bp(g)} - H_{SAR}^{VBRrt}}{L^{Bp(g)}}, \quad K_{ij,4}^{Cp(g)} = \frac{L^{Cp(g)} - H_{SAR}^{ABR}}{L^{Cp(g)}}, \quad (2.29)$$

2.3.2.2. Построение критерия эффективности уровня АТМ

Для формализации критерия эффективности уровня АТМ введем дополнительно следующие обозначения: ρ_{ij}^A , $\rho_{ij}^{Bp(g)}$, $\rho_{ij}^{Cp(g)}$, - коэффициенты загрузки канала $ij \in \hat{l}_{st,m}^k$ соответственно ячейками класса *A*, *B*, и *C* в рамках мультимедийного соединения. Для чисто пакетной сети АТМ коэффициент загрузки мультимедиа $\rho_{ij,ATMg}^{multy} = \rho_{ij,ATM}^{Bp(g)} + \rho_{ij,ATM}^{Cp(g)}$. По аналогии для гибридной сети АТМ - $\rho_{ij,ATMg} = \rho_{ij,ATM}^A + \rho_{ij,ATM}^C$, с учетом того, что трафик класса *A* занимает фиксированную часть ЛЦТ, которая «жестко» закрепляется за СВР-соединением в сеансе связи [14]. Через указанные коэффициенты загрузки в задачах анализа сети АТМ учитывается интенсивность потока поступления ячеек в транспортный канал и интенсивность их обслуживания.

Часть пропускной способности ЛЦТ, которая тратится на служебную информацию, вводимую уровнем АТМ для всех классов трафика можно оценить как $\frac{L^k}{L^k + H_{ATM}}$. Кроме того, пропускная способность ЛЦТ расходуется здесь и на организацию загрузки виртуальных каналов ячейками нагрузки класса *B* и ячейками данных, которую учитывают коэффициенты загрузки $\rho_{ij}^{Bp(g)}$, и $\rho_{ij}^{Cp(g)}$ (для СВР-канала $\rho_{ij}^A = 1$). Кроме того, в общем случае в пакетных ИТС указанные коэффициенты зависят также и от длин протокольных блоков соответствующих классов

нагрузки. Коэффициенты использования пропускной способности ЛЦТ разнородным трафиком на уровне АТМ:

$$K_{ij,ATM}^A = \frac{L^A}{L^A + H_{ATM}}, K_{ij,ATM}^{Bp(g)} = \frac{L^{Bp(g)}}{L^{Bp(g)} + H_{ATM}} \rho_{ij}^{Bp(g)}, K_{ij,ATM}^{Cp(g)} = \frac{L^{Cp(g)}}{L^{Cp(g)} + H_{ATM}} \rho_{ij}^{Cp(g)}. \quad (2.30)$$

2.3.2.3. Построение критерия эффективности физического уровня АТМ

Для подуровня конвергенции физического уровня АТМ избыточность, вносимая в ЛЦТ служебными полями протокольного блока, оценивается функционалами:

$$K_{ij,TS}^A = \frac{L^A + H_{ATM}}{L^A + H_{ATM} + H_{TS}}, K_{ij,TS}^{Bp(g)} = \frac{L^{Bp(g)} + H_{ATM}}{L^{Bp(g)} + H_{ATM} + H_{TS}}, K_{ij,TS}^{Cp(g)} = \frac{L^{Cp(g)} + H_{ATM}}{L^{Cp(g)} + H_{ATM} + H_{TS}}, \quad (2.31)$$

Избыточность, вносимую в ЛЦТ подуровнем, зависящим от физической среды, оценивают функционалы

$$K_{ij,PM}^A = \frac{L^A + H_{ATM} + H_{TS}}{L^A + H_{ATM} + H_{TS} + H_{PM}},$$

$$K_{ij,PM}^{Bp(g)} = \frac{L^{Bp(g)} + H_{ATM} + H_{TS}}{L^{Bp(g)} + H_{ATM} + H_{TS} + H_{PM}}, K_{ij,1}^{Cp(g)} = \frac{L^{Cp(g)} + H_{ATM} + H_{TS}}{L^{Cp(g)} + H_{ATM} + H_{TS} + H_{PM}} \quad (2.32)$$

Анализ структуры протокольных блоков систем передачи физического уровня АТМ показывает, что величина избыточности, вносимая в ЛЦТ подуровнями конвергенции физического уровня АТМ, и подуровнем, зависящим от физической среды, незначительна в сравнении с размером полей полезной нагрузки кадров (контейнеров), т. е. не теряя общности рассуждений можно предположить, что

$$K_{ij,1}^A = K_{ij,1}^{Bp(g)} = K_{ij,1}^{Cp(g)} = K_{ij,2}^A = K_{ij,2}^{Bp(g)} = K_{ij,2}^{Cp(g)} \approx 1. \quad (2.33)$$

Формирование уровневых функционалов и их выражения приведено в таблице 2.2. Примечание. -----,---- (обозначение протокольного блока уровня, включающий сервисный блок данных вышележащего уровня и управляющую служебную информацию уровня - заголовок).

Таблица 2.2 - Уровневые функционалы в архитектуре эталонной модели протокола В-ISDN

Уровень	Структура	Уровневый функционал
---------	-----------	----------------------

архитектуры BPRM	протокольного блока уровня	обозначение	компоненты
Верхний	$s^{A(Bp(g))}, s^{Cp(g)}$ сообщение, речевой фрагмент	-	-
Подуровень конвергенции AAL	$L^k - H_{SAR}^k, H_{CS}$	$K_{ij,CS}^k$	$\frac{S^k}{N^k(L^k - H_{SAR}^k)} \beta^k$
Подуровень сборки/разборки и AAL	L $L^k - H_{SAR}^k, H_{SAR}^k$	$K_{ij,SAR}^k$	$\frac{L^k - H_{SAR}^k}{L^k}$
Уровень ATM	$L^k + H_{ATM}$ L^k, H_{ATM}	$K_{ij,ATM}^k$	$\frac{L^k}{L^k + H_{ATM}} \rho_{ij}^k$

2.3.2.4. Формализация комплексного критерия эффективности неоднородной ИТС-АТМ

В рамках предложенной выше концепции, эффективность сети в режиме установленного соединения будем оценивать набором уровневых функционалов использования пропускной способности ИТС разнородным трафиком применительно к каждой паре отправитель-получатель (т. е. на уровне адаптации АТМ сеть АТМ выступает как набор трактов передачи), при заданных условиях его передачи в системе. Согласно логической структуре АТМ общие функционалы использования пропускной способности ИТС АТМ должны «расслоиться» на уровневые функционалы архитектуры ИТС, которые зависят от протоколов функционирования данного уровня и необходимой для их работы служебной информации соответствующих объемов. Для построения критерия эффективности будем использовать ранее предложенный метод. При выводе выражений функционалов $K_{ij,h}^k$ будем предполагать, что в модели архитектуры адаптация к передаче нагрузки класса A , осуществляется на AAL1, нагрузки класса B - на AAL2, а нагрузки данных классов C - на AAL3/4 и/или на AAL5.

Подставляя полученные выше выражения $K_{ij,h}^A, K_{ij,h}^{Bp(g)}, K_{ij,h}^{Cp(g)}, h = \overline{1,5}$ и K_{csAAL}^k в (2.5) с учетом высказанных предположений, получаем выражения для общих коэффициентов использования пропускной способности ЛЦГ $ij \in J$ неоднородной ИТС-АТМ соответственно трафиками классов A, B и C , обслуживаемыми различными службами в режиме установленного соединения

$$K_{ij}^A = \frac{s^A}{N^A(L^A + H_{ATM})}, K_{ij}^{Bp(g)} = \frac{s^{Bp(g)} \rho_{ij}^{Bp(g)}}{N^{Bp(g)}(L^{Bp(g)} + H_{ATM})}, K_{ij}^{Cp(g)} = \frac{s^{Cp(g)} \rho_{ij}^{Cp(g)} \beta_{ij}^{Cp(g)}}{N^{Cp(g)}(L^{Cp(g)} + H_{ATM})}. \quad (2.34)$$

Для мультимедийного соединения

$$K_{ij}^{multy} = \sum_k K_{ij}^k = \frac{s^A}{N^A(L^A + H_{ATM})} + \frac{s^{Cp(g)} \rho_{ij}^{Cp(g)}}{N^{Cp(g)}(L^{Cp(g)} + H_{ATM})}$$

$$K_{ij}^{multy} = \sum_k K_{ij}^k = \frac{s^{Bp(g)} \rho_{ij}^{Bp(g)}}{N^{Bp(g)}(L^{Bp(g)} + H_{ATM})} + \frac{s^{Cp(g)} \rho_{ij}^{Cp(g)} \beta_{ij}^{Cp(g)}}{N^{Cp(g)}(L^{Cp(g)} + H_{ATM})}. \quad (2.35)$$

Тогда, с учетом приведенных выше рассуждений, общий критерий эффективности использования составного сквозного тракта передачи $st \in S^k$ можно представить в виде среднегеометрического составляющих его критериев эффективности ЛЦГ:

а) для гибридной системы

$$K_{st}^A = \frac{s^A}{N^A(L^A + H_{ATM})}, K_{st}^{Cg} = \frac{s^{Cg} \beta_{st}^{Cg}}{N^{Cg}(L^{Cg} + H_{ATM})} r^c \sqrt{\prod_{ij \in \tilde{I}_{st}^{Cg}} \rho_{ij}^{Cg}(L^{Cg}, V_{ij}^A)}; \quad (2.36)$$

б) для пакетной системы

$$K_{st}^{Bp(g)} = \frac{s^{Bp(g)} \rho_{ij}^{Bp(g)}}{N^{Bp(g)}(L^{Bp(g)} + H_{ATM})} r^{Bp(g)} \sqrt{\prod_{ij \in \tilde{I}_{st}^{Bp(g)}} \rho_{ij}^{Bp(g)}(L^{Bp(g)})}$$

$$K_{st}^{Cp} = \frac{s^{Cp(g)} \rho_{ij}^{Cp(g)} \beta_{ij}^{Cp(g)}}{N^{Cp(g)}(L^{Cp(g)} + H_{ATM})} r^c \sqrt{\prod_{ij \in \tilde{I}_{st}^{Cp}} \rho_{ij}^C(L^B, L^{Cp}, \rho_{ij}^B)}, \quad (2.37)$$

где $r^k = |\tilde{I}^k|$. Для мультимедийного соединения $K_{st} = \sum_k K_{st}^k$.

С учетом, что вес потоков k -го класса, входящих в состав мультимедийных соединений в каждом из направлений $st \in S^k$, определяется их долей от общего входящего сетевого потока соответствующего класса, поступающего в сеть в рамках мультимедийной нагрузки, - выражения для сетевых критериев эффективности использования пропускной способности пакетных и/или гибридных ИТС-АТМ трафиками k -ых компонент мультимедийных соединения имеет вид

$$K^k = \sqrt[r^k]{\sum_{st \in S^k} \frac{\tilde{a}_{st}^k}{Y^k} (K_{st}^k)^{r^k}}, \quad r^k = |S^k|. \quad (2.38)$$

Общесетевые комплексные критерии эффективности использования пропускной способности ИТС-АТМ произвольной топологии мультимедийным трафиком даются выражениями

а) для гибридной системы АТМ

$$K_g = \sqrt[r^A]{\sum_{st \in S^A} \frac{\tilde{a}_{st}^A}{Y^A} (K_{st}^A)^{r^k}} + \sqrt[r^{Cg}]{\sum_{st \in S^{Cg}} \frac{a_{st}^{Cg}}{Y^{Cg}} (K_{st}^{Cg})^{r^{Cg}}} \quad (2.39)$$

б) для пакетной системы АТМ

$$K_p(g) = r_{Bp(g)} \sqrt{\sum_{st \in S^{Bp(g)}} \frac{\tilde{a}_{st}^{Bp(g)}}{Y^{Bp(g)}} (K_{st}^{Bp(g)})^{r_{Bp(g)}}} + r_{Cp(g)} \sqrt{\sum_{st \in S^{Cp(g)}} \frac{\tilde{a}_{st}^{Cp(g)}}{Y^{Cp(g)}} (K_{st}^{Cp(g)})^{r_{Cp(g)}}}. \quad (2.40)$$

Функциональные зависимости качественных показателей обслуживания разнородного трафика от параметров системы (2.28 - 2.32), (2.34 – 2.40) с учетом указанных ограничений – представляют **системную формализацию** процессов переноса мультимедийного трафика в ИТС в рамках единой транспортной услуги с заданными QoS-нормами в режиме установленного соединения.

2.4. Принцип единственности МСС как основа задачи ее анализа

2.4.1. Формализация задачи анализа в общем виде

Проектирование любой сети связи является сложным итерационным процессом и в первую очередь включает в себя задачу анализа, а именно: - определение по входным характеристикам сети (типу, величине и интенсивности входной нагрузки) и ее параметрам (топологии, пропускной способности, показателей надежности, системе маршрутизации) выходных характеристик (допустимых нагрузок по различным направлениям связи, ВВХ и т. п. Цель анализа – исследование устойчивости интегральных показателей к внешним и внутренним параметрам сети, выявление «узких» мест и выработка предложений по их устранению. При этом анализ сети осуществляется при поисках оптимальной топологии сети, синтезе пропускной способности ЛЦТ, поиске оптимального плана распределения потоков и др. Разработчик вначале рассматривает макроструктуру сети, оценивает ее параметры и рассчитывает характеристики ее элементов. После этого следует уточнение решений. По своей сути задача анализа носит поисковый характер и решается на каждом шаге итерационного процесса направленным комбинированием входных параметров сети с одновременным анализом выходных характеристик. При этом используется, как правило, одномерный критерий оптимизации и целый ряд допущений. Анализ сети важен также и при решении задач планирования связи, которые являются основой автоматизированных систем управления связью.

Для инфокоммуникационной сети задача анализа сохраняет содержание и важность, но приобретает некоторые особенности, связанные с противоречивыми требованиями к передаче мультимедийного трафика в общей физической среде. Например, как отмечалось выше, при рассмотрении особенностей передачи изохронного трафика в пакетной ИТС важно не среднее время пребывания пакета в

сети, а доля пакетов, не доставленных за заданное время, т. е. при ее анализе необходима фиксация заданного квантиля функции распределения времени пребывания пакета в сквозном тракте передачи. Кроме того, необходимо обеспечить (в рамках предоставления единой транспортной услуги в сессии) заданного уровня синхронизации разнородных мультимедийных потоковых компонент. На сегодняшний день практически отсутствует аналитический аппарат для инженерного анализа в общей сетевой постановке мультисервисных сетей в целом и их транспортных систем в частности. При этом требуется и «интеграция» соответствующих методов анализа в рамках единой модели. В общем виде задача анализа МСС может быть сформулирована следующим образом. Необходимо оценить: может ли смешанный трафик различной природы заданной структуры и объема, пропущенный на фазе установления соединения, быть обслужен системой при заданных условиях проектирования при условии соблюдения ограничений на QoS-нормы переноса в рамках мультимедийного соединения. При этом если такая передача возможна, необходимо определить предельные значения величин трафика различных классов, а в случае невозможности передачи – максимально допустимые их объемы, при которых еще возможно заданное качество обслуживания.

Математически сформулированную в общем виде задачу анализа можно формализовать в следующем образом найти такой вектор параметров \vec{x}_n^{konm} , что

$$\vec{x}_n^{konm} = \arg \max_{\vec{x}^k \in X_{\text{don}}^k} K^k(\vec{x}_m^k) \quad (2.41)$$

при $\vec{z}^k(\vec{x}_m^k) \in Z_{\text{don}}$. Здесь $\vec{x}_n^k = (\vec{x}_n^{\text{ИТС}})$, где $\vec{x}_n^{\text{ИТС}}$ – вектор параметров инфотелекоммуникационной транспортной системы; X_{don}^k – множество допустимых значений параметров, включая параметры защиты. $K^k(\vec{x}_n^k)$ – критерий эффективности системы, экстремум которого необходимо обеспечить выбором соответствующего вектора параметров; $\vec{z}_m^k(\vec{x}_n^k)$ – вектор показателей качества системы; Z_{don}^k – множество допустимых значений показателей качества.

Вопросы для самопроверки

1. Обоснуйте качественные показатели МСС
2. Обоснуйте функциональный критерий эффективности МСС.
3. Системная модель инфотелекоммуникационной транспортной системы
4. Поясните принцип функционально-структурной целостности инфотелекоммуникационных транспортных систем
5. Концепция архитектуры мультисервисной сети и ее основные особенности

6. Опишите логическую структуру архитектуры инфотелекоммуникационных транспортных систем на технологии IP-QoS
7. Опишите логическую структуру архитектуры инфотелекоммуникационной транспортной ATM-системы. Реализация базовых сетевых функций и основных протоколов в модели архитектуры BPRM
8. Поясните принцип уровневой иерархии МСС. Укажите общий подход к построению критерия эффективности на базе архитектуры МСС
9. Опишите процесс формализации критериев эффективности ИТС-IP-QoS
10. Опишите процесс формализации критериев эффективности ИТС-ATM
11. Поясните принцип единственности МСС как основу задачи ее анализа
12. Сформулируйте задачу анализа ИТС в общем виде

Тема 3. Аналитические модели процессов функционирования ИТС



При работе с данным разделом Вам предстоит:

3.1. Аналитические модели процессов функционирования неоднородной инфотелекоммуникационной транспортной IP-QoS-системы

3.1.1. Модели уровневых логических соединений IP-QoS-ИТС

Аналитические модели процессов функционирования ИТС строятся в виде набора моделей уровневых логических соединений для переноса мультимедийного трафика, отличающиеся учетом сложной многокомпонентной информационной потоковой структуры мультимедийных соединений и специфики их обслуживания.

3.1.1.1. Аналитическое описание транспортных логических соединений

В режиме установленного виртуального мультимедийного соединения фрагменты речевого трафика и сообщения данных поступают на транспортный уровень от оконечных мультимедийных терминалов. Речевой блок (РБ) – элементарная порция речевой дискретной информации, вырабатываемая вокодером или липледером в промежутке между двумя соседними синхроимпульсами. Величина РБ зависит от скорости передачи и алгоритма преобразования речевого сигнала в дискретную форму. Например, для вокодеров, работающих по принципу измерения мгновенного спектра речевого сигнала (полосовые вокодеры), при скорости 2400 бит/с – порядка 50 бит.; для липледеров на 9,6 кбит/с величина РБ равна 260 бит. Последовательность РБ совместно с сигналом, формируемым детектором пауз, образует речевой сегмент (РС) – своеобразное «сообщение» длиной s^B в диалоговом речевом соединении, т. е. под речевым сегментом понимается отрезок речевого сигнала, состоящего из системы активных звуковых сегментов, чередующихся с паузами, длина которых меньше или равна наперед

заданной величины. Эту величину назовем формирователем РС (ФРС). Известно [18], что основное влияние на качество субъективного восприятия речевых сигналов, прошедших через цифровую систему связи, оказывают следующие два фактора: длина речевого сегмента (РС) и сохранение непрерывности РС. Речевой сегмент преобразуется и кодируется в цифровой системе как единое целое, образуя своеобразное «сообщение». Длина РС не настолько коротка, чтобы содержать только одно слово или слог, но и не настолько длинна, чтобы содержать одну фразу или изречение. Обычно длина РС выбирается таким образом, чтобы при его обработке и транспортировке сохранялась непрерывность звучания звуковых сегментов на приемном конце ИТС. Как показывают эксперименты, влияние переменной составляющей сетевой задержки наиболее ощутимо при наличии коротких пауз между словами по сравнению с более длинными паузами между фразами и изречениями. Отсюда следует, что набор длины РС необходимо производить с учетом статистики речевых сигналов [18].

Пакеты формируются из соответствующих фрагментов и сообщений s^{kp} . Для расчета отношений S^{Bp} / N^{Bp} и S^{Cp} / N^{Cp} воспользуемся следующим утверждением для N^{kp} [14].

Утверждение. Для любых законов распределения длительностей активных речевых фрагментов $F^{Bp}(t)$ и длин сообщений данных $F^{Cp}(l)$ выражения N^{kp} для среднего числа информационных полей пакета в активном речевом фрагменте и в сообщении данных на транспортном уровне имеют следующий вид:

$$N^{Bp} = \sum_{k=1}^{\infty} k \left[F^{Bp} \left(\frac{L^{Bp} - H_{IP}}{v^B} k \right) - F^{Bp} \left(\frac{L^{Bp} - H_{IP}}{v^B} (k-1) \right) \right],$$

$$N^{Cp} = \sum_{k=1}^{\infty} k \left[F^{Cp} \left((L^{Cp} - H_{IP}) k \right) - F^{Cp} \left((L^{Cp} - H_{IP}) (k-1) \right) \right]. \quad (3.1)$$

Для технических реализаций, где потоки информации имеют достаточно большие значения, можно считать, что $s^{Cp}, s^{Bp} \rightarrow \infty$ (например, для пакетизатора речи с кодированием пауз [25] поток речевых пакетов образует единое сообщение в виртуальном соединении, длина которого равна длительности сеанса, умноженной на скорость работы речепреобразующего устройства). В этом случае справедлива лемма.

Можно показать [14], что для любых $F^{Bp}(t)$ и $F^{Cp}(l)$:

$$\frac{S^{Bp}}{N^{Bp}} \rightarrow L^{Bp} - H_{IP} \text{ и } \frac{S^{Cp}}{N^{Cp}} \rightarrow L^{Cp} - H_{IP} \quad (3.2)$$

Этот факт существенно упрощает процедуры вычислений функционалов и может применяться на ранних этапах проектирования сети для оценочных расчетов в условиях недостаточности данных.

В предположении, что длительности речевых фрагментов и длины сообщений распределены экспоненциально с параметрами $1/\tau^B$ и $1/s^k$, то можно показать, что

$$\frac{s^{Bp}}{N^{Bp}} = v^B \tau^B \left(1 - e^{-\frac{L^{Bp} - H_{IP}}{v^B \tau^B}}\right) \text{ и } \frac{s^{Cp}}{N^{Cp}} = s^{Cp} \left(1 - e^{-\frac{L^{Cp} - H_{IP}}{s^{Cp}}}\right),$$

где $\tau^B = \int_0^{\infty} t dF^{Bp}(t)$ и $s^{Cp} = \int_0^{\infty} l dF^{Cp}(l)$. (3.3)

Примером, когда условие $s^B \rightarrow \infty$ можно считать выполненным, является пакетизатор с кодированием пауз. В этом случае поток речевых пакетов в виртуальном соединении образует единое сообщение, длина которого равна длительности сеанса, умноженной на скорость работы речепреобразующего устройства.

Влияние процедур организации обратной связи для повторной передачи поврежденного кадра, обнаруженного на приемном конце составного тракта передачи, оценивается на транспортном уровне коэффициентом β_{st}^k [14]. Выше отмечалось, что для речевых пакетов недопустимы переспросы, но могут допускаться их определенные потери. Поэтому в дальнейшем будем считать $\beta_{st}^B = 1$. Величина β_{st}^{Cp} является функцией длины кадра $L^{Cp} + H_{NA}$ и вероятности ошибки в составном тракте p_{ou} . Для упрощения вычислений примем, что уровень ошибок во всех каналах сети одинаков, т. е. $\beta_{st}^{Cp} = \beta^C(L^{Cp}, p_{ou})$. Если обозначить p_0 вероятность отсутствия ошибок в кадре длины $L^{Cp} + H_{NA}$ и предположить, что число переспрашиваемых пакетов подчинено геометрическому распределению, то для РОС [14]

$$\beta^{Cp} = \sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{k} p_0 (1 - p_0)^{k-1} = -\frac{p_0}{1 - p_0} \ln p_0. \quad (3.4)$$

В частности, для биномиального канала с вероятностью ошибки, равной p_{ou} , $p_0 = (1 - p_{ou})^{L^C + H_{NA}}$. Для каналов с группирующимися ошибками выражение для p_0 может быть получено, например, из модели [26]. Вывод формулы (3.4) приведен в [14]. Указанный коэффициент должен быть учтен в общей модели виртуального соединения для переноса трафика класса C в составном тракте $st \in S^{Cp}$.

В результате, критерии эффективности межузловых логического соединений на транспортном уровне в целях достижения минимальной

пропускной способности для переноса изохронного трафика класса B и трафика данных класса C имеют вид

$$K_{ij,TCP}^{Bp} = \frac{v^B \int_0^{\infty} t dF^{Bp} p(t)}{\sum_{k=1}^{\infty} k \left[F^{Bp} \left(\frac{L^{Bp} - H_{IP}}{v^{B,q}} k \right) - F^{Bp} \left(\frac{L^{Bp} - H_{IP}}{v^{Bp}} (k-1) \right) \right] (L^{Bp} - H_{IP})}, \quad (3.5)$$

$$K_{ij,TCP}^{Cp} = \frac{\int_0^{\infty} l dF^{Cp} (l)}{\sum_{k=1}^{\infty} k \left[F^{Cp} ((L^{Cp} - H_{IP})k) - F^{Cp} ((L^{Cp} - H_{IP})(k-1)) \right] (L^{Cp} - H_{IP})} \left(-\frac{p_0}{1-p_0} \ln p_0 \right) \quad (3.6)$$

3.1.1.2. Аналитическое описание межсетевых логических соединений

Важнейшей частью процесса обработки пакетов является алгоритм управления очередью в буферах сетевого оборудования. Базовой идеей принципа «управления буферным пространством» является классификация пакетов и соответствующий ей сброс пакета или помещение его в буфер. В свою очередь, введение дополнительных буферов в структуру маршрутизатора расширило возможности реализации принципа «справедливого распределения ресурсов»: стало возможным управлять доступом пакетов определенных потоков к процессорному времени маршрутизатора. На основе этих двух базовых идей были разработаны методы, названные соответственно Queue Management (управление очередью) и Scheduling (планирование обслуживания). Под алгоритмом управления очередью понимается набор методов, управляющих поступлением, хранением и передачей на обслуживание поступающих в систему пакетов. Основные алгоритмы организации очередей – это алгоритм отбрасывания «хвоста» при заполнении максимального размера очереди (Tail Drop) и алгоритм раннего обнаружения (Random Early Detection, RED), когда прибывший пакет отбрасывается с вероятностью, зависящей от того, насколько превышен установленный порог или его модификация – алгоритм взвешенного раннего обнаружения переполнений (WRED), который используют приоритеты при выработке политики предотвращения переполнения выделенного буферного пространства [27].

Планирование обслуживания в ИТС базируется на введении приоритетного выбора очередей. Аналитические модели логических соединений на межсетевом уровне с учетом предположений и ограничений раздела 2, в общем случае описывающие процесс передачи пакетов класса B и пакетов данных в системе в рамках предоставления инфокоммуникационной услуги, может быть представлена однолинейной

многофазной системой массового обслуживания (СМО) с ожиданием и абсолютным приоритетным обслуживанием (с дообслуживанием) B -пакетов по отношению к пакетам данных на каждой фазе. Внутри класса B могут быть организовано либо раздельное обслуживание различных типов трафика с относительным приоритетом обслуживания индивидуальных очередей, либо обслуживание всех типов трафика в режиме FIFO в одной очереди с равным приоритетом.

Для вывода выражений коэффициентов загрузки $\rho_{ij,IP}^{Bp}$ и $\rho_{ij,IP}^{Cp}$ межсетевого уровня соответственно B -пакетами и пакетами данных класса C , которые учитывают динамику очередей разнородных пакетов на межсетевом уровне, сделаем следующие допущения и предположения:

- на физическом уровне m -й тракт $l_{st,m}^k \in L_{st}^k$ для каждого типа трафика в составе мультимедийного соединения образуют p каналов $ij \in J$ ЛЦТ, по которым, кроме потоков, принадлежащего данному $l_{st,m}^k \in L_{st}^k$ (основной поток), могут циркулировать потоки, принадлежащие другим трактам этого же класса (сторонние потоки). Суммарные потоки от всех источников на входе каждого канала тракта независимы друг от друга и являются простейшими;

- каждый канал $ij \in J$ ЛЦТ совместно с соответствующей ему частью памяти маршрутизаторов моделируется СМО $M/M/1/\infty$;

- в основе моделирования и анализа процессов переноса мультимедийного трафика в сети лежит предположение Клейнрока, что внутри сети отсутствует корреляция между длиной пакетов и временными интервалами между их прибытием [28];

- допустимое время сквозной задержки B -пакетов в транспортном канале θ_{st}^{Bp} включает в себя только две основные компоненты: время накопления информационной части B -пакета в оконечной системе источника, связанное с накоплением информационного поля пакета в видео- или речепреобразующем устройстве (на передаче $T_{pak}^{Bp} = (L^{Bp} - H_{IP}) / v^B$, и время задержки в тракте передачи $T_{st,m}^{Bp}$. Последнее включает случайную задержку пакетов T_i^{Bp} в маршрутизаторах, обусловленную: а) обслуживанием пакетов в поле коммутации, связанным с анализом таблиц маршрутизации и обработкой ячеек в коммутационных элементах (зависит от величины суммарного входящего потока и производительности связанных процессоров); б) обслуживанием планировщиком пакетов T_{ij}^{Bp} (определяется объемом выходного буфера, дисциплиной обслуживания исходящей очереди и скоростью V_{ij} передачи в ЛЦТ);

- заданное среднее время пребывания в тракте передачи $T_{st,m}^{Cp}$ пакетов класса C также содержит время накопления информационной

части пакета у абонента, равное $T_{pak}^{Cp} = (L^{Cp} - H_{IP})/\omega^C$. Отсюда возникает ограничение на величины $L^{Bp} \triangleleft \theta_{st}^{Bp} v^B - H_{IP}$ и $L^{Cp} \triangleleft T_{st,m}^{Cp} \omega^C - H_{IP}$, которое необходимо учитывать при решении задачи параметрического анализа сети;

- в общем балансе времени θ^{Bp} и T^{Cp} не будем учитывать время, затраченное на «последней миле» или в сети абонентского доступа T_{lm} , задержку распространения сигнала T_{pf} в физической среде и задержку T_{jitter}^{Bp} на стороне получателя в депакетизаторе, связанную с компенсацией величины флуктуации сетевой задержки для обеспечения непрерывного воспроизведения B -пакетов на приеме [14].

Текущее значение $\hat{\rho}_{ij,IP}^{Bp}$ можно вычислить следующим образом. Пропущенная суммарная изохронная нагрузка в канале $ij \in l_{st,m}^{Bp}$, полученная для заданной системы маршрутов R_{st}^{Bp} в сети, равна $\hat{a}_{ij}^{Bp} = a_{ij}^{Bp} (1 - b_{ij}) = \sum_{st \in S^{B,q}} \sum_{m=1}^{M_{st}^{Bp}} p_{st,m}^{Bp} \hat{a}_{st}^{Bp}$ (Эрл). Тогда эффективная скорость передачи, например, речевого В-трафика в канале $ij \in l_{st,m}^{Bp}$ определяется соответственно как

$$V_{ij,IP}^{Bp} = \hat{a}_{ij}^{Bp} z^{Bp} \eta^{Bp} v^B, \quad (3.7)$$

Здесь z^{Bp} - коэффициент сжатия речевой информации; η^{Bp} - коэффициент уплотнения пауз в речевом соединении; Типичное значение для речи $\eta^{Bp} = 0,497$ [18]. С другой стороны требуемая минимальная эффективная скорость переноса речевого трафика в канале $ij \in l_{st,m}^{Bp}$ с учетом выводов раздела 2 вычисляется через общий критерий эффективности $K_{ij,IP}^{Bp} = \frac{L^{Bp} - H_{IP}}{L^{Bp}} \rho_{ij}^{Bp}$:

$$V_{ij,IP}^{Bp} = V_{ij} K_{ij,IP}^{Bp} = V_{ij} \frac{(L^{Bp} - H_{IP}) \rho_{ij}^{Bp}}{L^{Bp}}. \quad (3.8)$$

Приравнявая (3.7) и (3.8) и разрешив уравнение относительно ρ_{ij}^{Bp} , получаем удельную загрузку системы речевым трафиком

$$\rho_{ij,IP}^{Bp} = \frac{L^{Bp}}{L^{Bp} - H_{IP}} \frac{v^{Bp}}{V_{ij}} \hat{a}_{ij}^{Bp} z^{Bp} \eta^{Bp}. \quad (3.9)$$

Ясно, что должно выполняться неравенство

$$\frac{L^{Bp}}{L^{Bp} - H_{IP}} \frac{v^{Bp}}{V_{ij}} \widehat{a}_{ij}^{Bp} z^{Bp} \eta^{Bp} \leq \rho_{ij,IP}^{Bp \max}, \quad (3.10)$$

где $\rho_{ij,IP}^{Bp \max}$ – максимально возможная удельная загрузка ЛЦТ речевым трафиком. При сделанных предположениях и известных значениях $\rho_{ij,IP}^{Bp}$ и L^{Bp} можно получить выражение для нахождения значения $\rho_{ij,IP}^{Cp}$, пропущенного в рамках установленных мультимедийных соединений.

Известно [28], что среднее время пребывания пакета данных класса C в звене, моделируемом СМО типа $M/M/1$ с абсолютным приоритетом обслуживания речевого трафика, дается выражением:

$$T_{ij}^{Cp} = \frac{L^{Cp}(1 - \rho_{ij}^{Bp}) + L^{Bp} \rho_{ij}^{Bp}}{(1 - \rho_{ij}^{Bp} - \rho_{ij}^{Cp})(1 - \rho_{ij}^{Bp})V_{ij}}. \quad (3.11)$$

Решая это уравнение относительно ρ_{ij}^{Cp} , получаем

$$\rho_{ij,IP}^{Cp} = \left(1 - \rho_{ij}^{Bp} - \frac{L^{Cp}}{V_{ij}T_{ij}^{Cp}} + \frac{\rho_{ij}^{Bp}}{1 - \rho_{ij}^{Bp}} \frac{L^{Bp}}{V_{ij}T_{ij}^{Cp}}\right). \quad (3.12)$$

Аналитическое описание логических соединений межсетевого уровня для речевого трафика и трафика данных с учетом протокольной избыточности соответственно даются следующими выражениями

$$V_{ij,IP}^{Bp} = V \frac{L^{Bp} - H_{IP}}{L^{Bp}} \rho_{ij,IP}^{Bp \max} \quad (3.13)$$

и

$$V_{ij,IP}^{Cp} = V \frac{L^{Cp} - H_{IP}}{L^{Cp}} \left(1 - \rho_{ij}^{Bp} - \frac{L^{Cp}}{V_{ij}T_{ij}^{Cp}} + \frac{\rho_{ij}^{Bp}}{1 - \rho_{ij}^{Bp}} \frac{L^{Bp}}{V_{ij}T_{ij}^{Cp}}\right). \quad (3.14)$$

3.1.1.3. Аналитическое описание логических соединений уровня сетевого доступа

Аналитическое описание логических соединений уровня сетевого доступа для речевого трафика и трафика данных с учетом протокольной избыточности, вносимой соответствующими технологиями (MPLS, FR и др.) могут быть представлены в следующем виде

$$V_{ij,NA}^{Bp} = V \frac{L^{Bp}}{L^{Bp} + H_{NA}}, \quad (3.15)$$

$$V_{ij,NA}^{Cp} = V \frac{L^{Cp}}{L^{Cp} + H_{NA}}. \quad (3.16)$$

3.1.2. Аналитические модели логических соединений ЛЦТ и составного тракта передачи IP-QoS-ИТС

Аналитические модели логических соединений для речевого трафика и трафика данных в ЛЦТ и составном тракте передачи в ИТС на технологии IP-QoS с учетом мультипликативной формы представления

$K_{ij}^{k_p} = \prod_{h=1}^4 K_{h,ij}^{k_p}$, и результатов, полученных в разд. 3.1.1, имеют вид:

$$\begin{aligned} V_{ij}^{Bp} &= V \frac{L^{Bp} - H_{IP}}{L^{Bp} + H_{NA}} \rho_{ij,IP}^{Bp \max}, \\ V_{ij}^{Cp} &= V \frac{L^{Cp} - H_{IP}}{L^{Cp} + H_{NA}} \left(1 - \rho_{ij}^{Bp} - \frac{L^{Cp}}{V_{ij} T_{ij}^{Cp}} + \frac{\rho_{ij}^{Bp}}{1 - \rho_{ij}^{Bp}} \frac{L^{Bp}}{V_{ij} T_{ij}^{Cp}} \right), \end{aligned} \quad (3.17)$$

$$\begin{aligned} V_{st}^{Bp} &= \frac{L^{Bp} - H_{IP}}{L^{Bp} + H_{NA}} \sum_{m=1}^{M_{st}^{Bp}} p_{st,m}^{Bp} \sqrt[rs_{st,m}^{Bp}]{\prod_{ij \in I_{st,m}^{Bp}} \frac{L^{Bp} \widehat{a}_{ij}^{Bp} v^{Bp} \eta^B z^B}{L^{Bp} - H_{IP}}}, \\ V_{st}^{Cp} &= V \frac{L^{Cp} - H_{IP}}{L^{Cp} + H_{NA}} \sum_{m=1}^{M_{st}^{Cp}} p_{st,m}^{Cp} \sqrt[rs_{st,m}^{Cp}]{\prod_{ij \in I_{st,m}^{Cp}} \left(1 - \rho_{ij}^{Bp} - \frac{L^{Cp}}{V_{ij} T_{ij}^{Cp}} + \frac{\rho_{ij}^{Bp}}{1 - \rho_{ij}^{Bp}} \frac{L^{Bp}}{V_{ij} T_{ij}^{Cp}} \right) \left(-\frac{p_0}{1 - p_0} \ln p_0 \right)}. \end{aligned} \quad (3.18)$$

Подчеркнем еще раз, что общие сетевые функционалы оценки эффективности использования ресурса пропускной способности системы асинхронным трафиком имеет ярко выраженную условную зависимость от изохронного трафика.

Коэффициент относительного использования цифрового тракта на транспортном уровне дается выражением с учетом квантильного подхода для оценки качества обслуживания мультимедийного соединения

$$R^p = \left[V_{ij}^{\min Bp} (1 - d^{Bp}) + V_{ij}^{\min Cp} (1 - d^{Cp}) \right] / V_{ij} \quad (3.19)$$

3.1.3. Аналитическое описание показателей качества IP-QoS-ИТС

В разделе 1 с учетом «квантильного» подхода были определены основные ограничения на качественные обслуживания мультимедийных соединений. При оптимизации функционала для речевого трафика в качестве ограничений будет выступать выражение (1.3). Если обозначить $T_{st,m}^{Bp}$ случайную задержку речевого пакета в m -м виртуальном канале

множества L_{st}^{Bp} , T_{st}^{Bp} – случайную величину вида $T_{st}^{Bp} = \sum_{m=1}^{M_{st}^{Bp}} p_{st,m}^{Bp} T_{st,m}^{Bp}$, а соответствующие им функции распределения $F_{st,m}^{Bp}(t) = \Pr\{T_{st,m}^{Bp} \leq t\}$ и $F_{st}^{Bp}(t) = \Pr\{T_{st}^{Bp} \leq t\}$, то с учетом предполагаемой независимости $F_{st}^{Bp}(t) =$

$\sum_{m=1}^{M_{st}^{Bp}} p_{st,m}^{Bp} F_{st,m}^{Bp}(t)$. Соответствующая плотность распределения $f_{st}^{Bp}(t) = \sum_{m=1}^{M_{st}^{Bp}} p_{st,m}^{Bp} f_{st,m}^{Bp}(t)$, где $f_{st,m}^{Bp}(t) = (F_{st,m}^{Bp}(t))'$. Искомая вероятность превышения задержки $\Pr_{st}(t \geq \theta^{Bp}) = \sum_{m=1}^{M_{st}^{Bp}} p_{st,m}^{Bp} \int_{\theta^{Bp}}^{\infty} f_{st,m}^{Bp}(t) dt$. Интегрируя и подставляя пределы интегрирования, получаем

$$\Pr_{st}(t \geq \theta^{Bp}) = \sum_{m=1}^{M_{st}^{Bp}} p_{st,m}^{Bp} (1 - F_{st,m}^{Bp}(\theta^{Bp})), \quad \forall st \in S^B : a_{st}^{Bp} \neq 0. \quad (3.20)$$

Квантили $F_{st,m}^{Bp}(\theta^{Bp})$ легко вычисляются при принятых предположениях.

Пусть функция распределения вероятностей времени пребывания речевого пакета T_{ij}^{Bp} в канале $ij \in R_{st}^B$ имеет экспоненциальное распределение со средним $1/\mu_{ij}^{Bp}$ и дается выражением $F_{ij}^{Bp}(t) = \Pr\{T_{ij}^{Bp} \leq t\} = 1 - e^{-\mu_{ij}^{Bp}(1-\rho_{ij}^{Bp})t}$. Известно [28], что преобразование Лапласа-Стилтьеса плотности распределения времени пребывания пакета в последовательной цепочке неоднородных каналов $ij \in I_{st,m}^{Bp}$ ($m = \overline{1, M_{st}^{Bp}}$), моделируемом СМО типа $M/M/1$ равно

$$f_{st,m}^{Bp}(s) = \prod_{ij \in I_{st,m}^{Bp}} \frac{\mu_{ij}^{Bp} (1 - \rho_{ij}^{Bp})}{s + \mu_{ij}^{Bp} (1 - \rho_{ij}^{Bp})}, \quad (3.21)$$

где $\mu_{ij}^{Bp} = \frac{V_{ij}}{L^{Bp} + H_{NA}}$ (3.22)

величина, обратная средней длительности обслуживания речевого пакета в каждой отдельной СМО типа $M/M/1$ тракта $st \in S^B$.

Для учета задержки речевых пакетов в УК, каждый из которых в составном тракте моделируется СМО типа $M/M/1$, а входом указанной системы обслуживания является суммарный поток из всех входящих каналов, т. е. для УК $j \in J$ интенсивность $\lambda_j^{Bp} = \sum_{i \in I_j} \lambda_{ij}^{Bp}$, где I_j - множество

УК инцидентных УК $j \in J$.

Тогда выражение (3.21) силу предполагаемой независимости задержек в отдельных каналах пути $\hat{l}_{st,m}^{Bp}$ и на УК $i \in I_{st,m}^{Bp}$ с учетом, что распределение времени обслуживания пакетов в маршрутизаторе аппроксимируется экспоненциальным распределением со средним $1/\mu_i$ [29], имеет вид

$$f_{st,m}^{Bp}(s) = \prod_{ij \in I_{st,m}^{Bp}} \frac{\mu_{ij}^{Bp} (1 - \rho_{ij}^{Bp})}{s + \mu_{ij}^{Bp} (1 - \rho_{ij}^{Bp})} \prod_{i \in I_{st,m}^{Bp,a}} \frac{\mu_i (1 - \lambda_i^{Bp} c_i^{VK})}{s + \mu_i (1 - \lambda_i^{Bp} c_i^{VK})}, \quad (3.23)$$

где $\mu_i = \frac{c_i^{YK}}{L^{Bp} - H_{IP}}$, c_i^{YK} – производительность i -го УК (пакет/с).

Обращение этого преобразования дает плотность вероятности $f_{st,m}^{Bp}(t)$ сквозного времени пребывания θ_{st}^{Bp} речевого пакета в тракте $st \in S^B$ двухполюсной сети, представляющую собой i -кратную свертку в виде произведения дробно-рациональных функций, вычисление которой осуществляется по известным методикам. В общем виде

$$f_{st,m}^{Bp}(t) = L^{-1}(\bullet) \left(\prod_{ij \in I_{st,m}^{Bp,a}} \frac{\mu_{ij}^{Bp} (1 - \rho_{ij}^{Bp})}{s + \mu_{ij}^{Bp} (1 - \rho_{ij}^{Bp})} \prod_{i \in I_{st,m}^{Bp,a}} \frac{\mu_i (1 - \lambda_i^{Bp} c_i^{YK})}{s + \mu_i (1 - \lambda_i^{Bp} c_i^{YK})} \right), \text{ где } L^{-1}(\bullet) \text{ – обратное}$$

преобразование Лапласа-Стилтьеса. Тогда после вычисления выражение (3.20) примет вид

$$1 - F_{st,m}^{Bp}(\theta_{st}^{Bp}) = \int_{\theta_{st}^{Bp} - T_{pac}^B}^{\infty} f_{st,m}^{Bp}(t) dt, \quad (3.24)$$

где $T_{pac}^{Bp} = \frac{L^B - H_{IP}}{\nu^B}$. Окончательно выражение (1.3) принимает вид

$$\sum_{m=1}^{M_{st}^B} \rho_{st,m}^{Bp} (1 - F_{st,m}^{Bp}(\theta^B)) \leq d^{Bp}, \quad \forall st \in S^{Bp} : a_{st}^{Bp} \neq 0. \quad (3.25)$$

Примечание 2.1. Учесть время обработки пакета в общем балансе времени передачи пакета по тракту пакетной ИТС можно уменьшив его в вышеприведенных формулах дополнительно на величину τ_{np} , с (время обработки одного пакета в узле коммутации). Последнее может быть оценено по формуле $\tau_{np} = \frac{m}{\omega_{np}}$, где m – среднее число операций, затрачиваемых на обработку одного пакета, ω_{np} операций/с – скорость работы процессора. Оценить производительность маршрутизатора сети можно исходя из следующих рассуждений. Если $c_{st,m}^i$ – доля производительности i -го маршрутизатора в m -ом маршруте тракта $st \in S^k$

, то $c_{st,m}^i = \begin{cases} \hat{a}_{st,m}^k, & i \in I_{s,mt}^k \\ 0, & i \notin I_{s,mt}^k \end{cases}$ (пакет/с), где $I_{st,m}^k$ – множество транзитных

маршрутизаторов в m -м маршруте $\hat{l}_{st,m}^k$.

Следовательно, производительность маршрутизаторов

$$c_i^{YK} = \sum_{st \in S} \sum_{m=1}^{M_{st}^h} c_{st,m}^i, \quad i \in I^k. \quad (3.26)$$

При оптимизации функционала для трафика данных с учетом, что параметры трафика речи оптимальны и фиксированы, в качестве основного ограничения выступает ограничение (1.5) на заданное среднее

время доставки в сеансе связи T_{st}^C пакетов данных класса C (или при квантильном подходе – на $\sum_{m=1}^{M_{st}^{Cp}} \rho_{st,m}^{Cp} (1 - F_{st,m}^{Cp}(T^{Cp})) \leq d^{Cp}$). С учетом выше сформулированных допущений это ограничение принимает следующий вид:

$$T_{st}^{Cp} = \sum_{m=1}^{M_{st}^{Cp}} P_{st,m}^{Cp} T_{st,m}^{Cp} - \frac{L^{Cp} - H_{IP}}{\omega^C} = \sum_{m=1}^{M_{st}^{Cp}} P_{st,m}^{Cp} \left(\sum_{ij \in I_{st,m}^C} T_{ij}^{Cp} + \sum_{\forall i: ij \in I_{st,m}^C} T_i^{Cp} \right) - \frac{L^{Cp} - H_{IP}}{\omega^C} \leq T^{Cp}. \quad (3.27)$$

Для всех $st \in S^{Cp}$: $\bar{a}_{st}^{Cp} \neq 0$ – это основное ограничение задачи анализа пакетной ИТС на технологии IP-QoS для трафика данных класса C .

3.2. Аналитические модели функционирования ИТС-АТМ

3.2.1. Аналитические модели процессов функционирования однородных пакетных инфотелекоммуникационных транспортных АТМ-систем

Ниже будут исследованы однородные ИТС на технологии АТМ, у которых основные вероятностно-временные характеристики всех транспортных каналов между отправителями и получателями примерно одинаковы. Такое допущение справедливо только для магистральных ИС, при проектировании которых заказчик, как правило, выдает нагрузочные характеристики на отдельные звенья в час наибольшей нагрузки (ЧНН) в силу того, что в ЧНН величина потоков в магистральных ЛЦТ примерно одинакова. Более того, можно предположить, что скорость передачи в межузловых ЛЦТ сетей указанного класса $V_{ij} = V = const$, т. к. на магистральных сетях используется стандартная каналобразующая аппаратура, а значения вероятностей ошибки в каждом ЛЦТ $p_{ij} \cong p$. Указанные предположения дают основание рассмотреть однородные магистральные ИТС как системы однородных транспортных каналов и вывести для них явные аналитические выражения для расчета основных ВВХ. Предполагается также, что потери по вызовам и дисперсии заданы. Не нарушая общности подхода в дальнейшем для упрощения аналитических выводов в моделях ИТС на технологии АТМ будем учитывать только асинхронный трафик класса C .

Согласно логической структуре АТМ на уровне адаптации АТМ система выступает как набор трактов передачи, поддерживаемых в сессии логическими соединениями нижележащих уровней. В рамках предложенной выше концепции, модель транспортного соединения ИТС представим в виде совокупности уровневых функционалов номинальной пропускной способности для передачи мультимедийного трафика применительно к каждой паре «отправитель-получатель». Построение

аналитических моделей уровневых логических соединений будем проводить с учетом заданных условий проектирования, уровневых протоколов и необходимой для их работы служебной информации, а также условий транспортировки разнородного трафика. При этом вполне естественно, что, например, протоколы организации обратной связи для повышения верности передачи сообщений данных в ИТС должны быть учтены при построении модели логического соединения уровня сегментации и сборки SAR AAL, а топология сети, механизмы управления информационными потоками и протоколы маршрутизации – в соответствующей модели уровня ATM.

Воспользовавшись введенными в разделе 2 обозначениями выведем выражения для всех моделей логических соединений архитектуры ИТС-ATM.

3.2.1.1. Аналитические модели однородных пакетных логических соединений уровня адаптации ATM

На уровне AAL пакеты формируются из соответствующих речевых фрагментов и сообщений данных s^k . По аналогии с ИТС-QOS будем предполагать, что для любых законов распределения длительностей активных речевых фрагментов $F^{Bp(g)}(t)$ и длин сообщений данных $F^{Cp(g)}(l)$ выражения N^k для среднего числа информационных полей пакета в активном речевом фрагменте и в сообщении данных на транспортном уровне имеют следующий вид

$$N^{Bp(g)} = \sum_{k=1}^{\infty} k \left[F^{Bp(g)} \left(\frac{L^{Bp(g)} - H_{SAR}^{VBRrt}}{v^B} k \right) - F^{Bp(g)} \left(\frac{L^{Bp(g)} - H_{SAR}^{VBRrt}}{v^B} (k-1) \right) \right]$$

$$N^{Cp(g)} = \sum_{k=1}^{\infty} k \left[F^{Cp(g)} \left((L^{Cp(g)} - H_{SAR}^{ABR}) k \right) - F^{Cp(g)} \left((L^{Cp(g)} - H_{SAR}^{ABR}) (k-1) \right) \right]. \quad (3.28)$$

В предположении, что длительности речевых фрагментов и длины сообщений распределены экспоненциально с параметрами $1/\tau^B$ и $1/s^k$, то можно показать, что

$$\frac{s^{Bp(g)}}{N^{Bp(g)}} = v^B \tau^B \left(1 - e^{-\frac{L^{Bp(g)} - H_{SAR}^{VBRrt}}{v^B \tau^B}} \right) \text{ и } \frac{s^{Cp(g)}}{N^{Cp(g)}} = s^{Cp(g)} \left(1 - e^{-\frac{L^{Cp(g)} - H_{SAR}^{ABR}}{s^{Cp(g)}}} \right),$$

$$\text{где } \tau^B = \int_0^{\infty} t dF^{Bp(g)}(t) \text{ и } s^{Cp(g)} = \int_0^{\infty} \ell dF^{Cp(g)}(\ell^{Cp(g)}).$$

Влияние процедур организации обратной связи для повторной передачи поврежденного кадра, обнаруженного на приемном конце составного тракта передачи, оценивается на транспортном уровне

коэффициентом β_{st}^k . Выше отмечалось, что для речевых пакетов недопустимы переспросы, но могут допускаться их определенные потери. Поэтому в дальнейшем будем считать $\beta_{st}^{Bp(g)} = 1$. Величина $\beta_{st}^{Cp(g)}$ является функцией длины АВР-ячейки $L^{Cp(g)} + H_{ATM}$ и вероятности ошибки в составном тракте p_{ou} . Для упрощения вычислений примем, что уровень ошибок во всех каналах сети одинаков, т. е. $\beta_{st}^{Cp(g)} = \beta^C(L^{Cp(g)}, p_{ou})$. Если обозначить p_0 вероятность отсутствия ошибок в кадре длины $L^{Cp(g)} + H_{ATM}$ и предположить, что число переспрашиваемых пакетов подчинено геометрическому распределению, то для РОС

$$\beta^{Cp(g)} = \sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{k} p_0 (1-p_0)^{k-1} = -\frac{p_0}{1-p_0} \ln p_0 \quad (3.29)$$

В частности для биномиального канала с вероятностью ошибки равной p_{ou} $p_0 = (1-p_{ou})^{L^{Cp(g)} + H_{ATM}}$. Указанный коэффициент должен быть учтен в общей модели виртуального соединения для переноса трафика класса C в составном тракте $st \in S^{Cp(g)}$

Модели межсетевого и составного транспортного логического канала в терминах минимальной пропускной способности пакетной ИТС-АТМ уровня адаптации АТМ, с учетом введенных предположений и допущений в п. 3.1.1. имеют вид

$$V_{ij,AAL}^{Bp(g)} = V \frac{L^{Bp(g)} - H_{SAR}^{VBRrt}}{L^{Bp(g)}} \quad (3.30)$$

$$V_{st,AAL}^{Cp(g)} = V \frac{L^{Cp(g)} - H_{SAR}^{ABR}}{L^{Cp(g)}} \left(-\frac{p_0}{1-p_0} \ln p_0 \right) \quad (3.31)$$

3.2.1.2. Аналитические модели однородных пакетных логических соединений уровня АТМ

Для однородных пакетных ИТС расчет сетевых характеристик логического соединения уровня АТМ сводится к расчету параметров «типичного» для сети n -звенного составного канала. Математическая модель, описывающая процесс передачи трафика классов B и C по однородному транспортному каналу в пакетной ИТС-АТМ, может быть представлена однолинейной многофазной СМО с ожиданием и абсолютным приоритетным обслуживанием (с дообслуживанием) речевых ячеек по отношению к ячейкам данных на каждой фазе). Каждый канал $ij \in J$ ЛЦТ совместно с соответствующей ему частью памяти маршрутизаторов моделируется СМО $M/M/1/\infty$. Внутри класса B могут быть организовано либо отдельное обслуживание различных типов трафика с относительным приоритетом обслуживания индивидуальных

очереди, либо обслуживание всех типов трафика в режиме FIFO в одной очереди с равным приоритетом.

Для вывода выражений коэффициентов загрузки $\rho_{ij}^{Bp(g)}$ и $\rho_{ij}^{Cp(g)}$ межсетевого уровня соответственно речевыми B -ячейками и ячейками данных класса C , которые учитывают динамику очередей разнородных пакетов на межсетевом уровне, сделаем следующие допущения и предположения:

- суммарные потоки на входе каждого канала тракта независимы друг от друга и являются простейшими;

- допустимое время сквозной задержки речевых ячеек в транспортном канале $\theta_{st}^{Bp(g)}$ включает в себя только две основные компоненты: время накопления информационной части в оконечной системе источника, связанное с накоплением информационного поля ячейки в речепреобразующем устройстве (на передаче $T_{pak}^B = (L^{Bp(g)} - H_{SAR}^{VBRrt}) / v^B$ и время задержки в тракте передачи $T_{st}^{Bp(g)}$. Последнее включает случайную задержку пакетов $T_i^{Bp(g)}$ в маршрутизаторах, обусловленную а) обслуживанием пакетов в поле коммутации, связанным с анализом таблиц маршрутизации и обработкой ячеек в коммутационных элементах (зависит от величины суммарного входящего потока и производительности связных процессоров); б) обслуживанием планировщиком пакетов $T_{ij}^{Bp(g)}$ (определяется объемом выходного буфера, дисциплиной обслуживания исходящей очереди и скоростью V_{ij} передачи в ЛЦТ). Заданное среднее время пребывания в тракте передачи ячеек класса C $T^{Cp(g)}$ также содержит время накопления информационной части у абонента, равное $T_{pak}^{Cp(g)} = (L^{Cp(g)} - H_{SAR}^{ABR}) / \omega^C$ и $T_{st}^{Cp(g)}$. Отсюда возникает ограничение на величины $L^{Bp(g)} < \theta_{st}^{Bp(g)} v^B - H_{SAR}^{VBRrt}$ и $L^{Cp(g)} < T_{st}^{Cp(g)} \omega^C - H_{SAR}^{ABR}$, которое необходимо учитывать при решении задачи параметрического анализа сети;

- в общем балансе времени $\theta_{st}^{Bp(g)}$ и T^C мы не будем учитывать время, затраченное на «последней миле» или в сети абонентского доступа T_{lm} , задержку распространения сигнала T_{pf} в физической среде и задержку T_{jitter}^B на стороне получателя в депакетизаторе, связанной с компенсацией величины флуктуации сетевой задержки для обеспечения непрерывного воспроизведения речевых фрагментов на приеме.

На рисунке 3.1 представлена модель однородного логического соединения пакетной ИТС-АТМ на уровне АТМ в режиме установленного соединения.

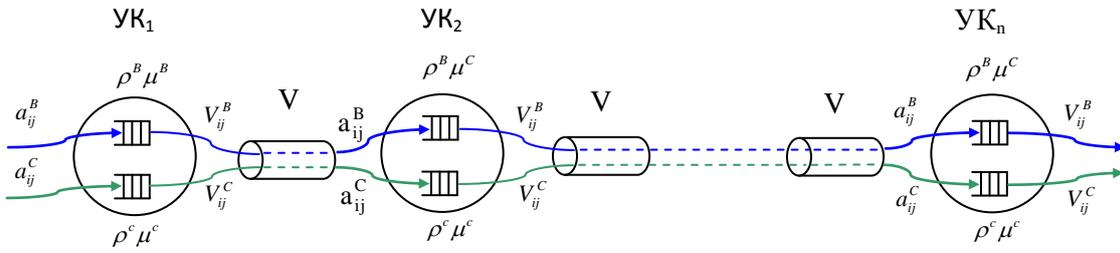


Рисунок 3.1. Модель однородного логического соединения уровня АТМ в пакетной ИТС-АТМ

Однородный n -звенный транспортный канал представляет собой n последовательно включенных однородных межузловых ЛЦТ от источника до получателя (этот параметр учитывает качество маршрутизации информации в сети и ее топологию). На физическом уровне ЛЦТ образуют составной тракт передачи. При сделанных допущениях определим выражения для коэффициентов загрузки $\rho_{ij}^{Bp(g)}$, $\rho_{ij}^{Cp(g)}$. Максимальный коэффициент загрузки тракта $\rho_{ij}^{Bp(g)}$ ячейками трафика класса B можно определить из следующих соображений. Пусть t_i - время пребывания пакета в одном ЛЦТ составного VBRrt-канала передачи, тогда общее время пребывания B -ячейки в n -звеном VBRrt-

$$\text{канале передачи есть } T_{st}^{Bp(g)} = \sum_{i=1}^n t_i .$$

Известно, что преобразование Лапласа плотности распределения времени пребывания B -ячейки в n -звеном VBRrt-канале, каждое звено которого моделируется СМО типа $M/M/1$ для любой пары $st \in S^{Bp(g)}$ имеет вид $f_{st}^{Bp(g)}(s) = \prod_{i=1}^n f_i^{Bp(g)}(s) = \prod_{i=1}^n \frac{\mu_i^{Bp(g)}(1-\rho_i^{Bp(g)})}{s + \mu_i^{Bp(g)}(1-\rho_i^{Bp(g)})}$. В частности, если тракт передачи однороден, то $f_i^{Bp(g)}(s) = f^{Bp(g)}(s)$ для $\forall i$ и

$$f_{st}^{Bp(g)}(s) = \left[\frac{\mu^{Bp(g)}(1-\rho^{Bp(g)})}{s + \mu^{Bp(g)}(1-\rho^{Bp(g)})} \right]^n, \quad (3.34)$$

где $\mu^{Bp(g)} = \frac{V}{L^{Bp(g)} + H_{ATM}}$ - величина, обратная средней длительности обслуживания речевой ячейки в i -ой СМО типа $M/M/1$ ($i = \overline{1, n}$); $\rho_{ij}^{Bp(g)} = \rho^{Bp(g)}$ - максимальная загрузка этой системы пропущенным речевым трафиком. Обращение преобразования (3.7) дает плотность распределения вероятности $f_{st}^{Bp(g)}(t)$ времени пребывания B -ячейки в

сквозном VBRrt-канале:

$$f_{st}^{Bp(g)}(t) = \frac{[\mu^{Bp(g)}(1-\rho^{Bp(g)})]^n t^{n-1}}{(n-1)!} e^{-\mu^{Bp(g)}(1-\rho^{Bp(g)})t} .$$

Отсюда получаем уравнение для нахождения максимально допустимой величины $\rho^{Bp(g)}$:

$$\frac{[\mu^{Bp(g)}(1-\rho^B)]^n}{(n-1)!} \int_{\theta_{st}^{Bp(g)}}^{\infty} t^{n-1} e^{-\mu^{Bp(g)}(1-\rho^{Bp(g)})t} dt = d^B, \quad (3.35)$$

Обозначив $x = \mu^{Bp(g)}(1-\rho^{Bp(g)})t$ и произведя замену переменных в уравнении (3.35), получим

$$\int_z^{\infty} x^{n-1} e^{-x} dx = (n-1)! d^B, \quad (3.36)$$

Здесь

$$z = \zeta(1-\rho^{Bp(g)}), \quad (3.37)$$

где $\zeta = \left[\frac{\theta_{st}^{Bp(G)} V}{L^{Bp(g)} + H_{ATM}} - \frac{L^{Bp(g)} - H_{SAR}^{VBRrt}}{L^{Bp(g)} + H_{ATM}} \frac{V}{v^B} \right]$. По определению левая часть уравнения

(3.36) есть неполная гамма-функция $\Gamma(n, z) \equiv \int_z^{\infty} x^{n-1} e^{-x} dx$, следовательно

$$\Gamma(n, z) = (n-1)! d^B. \quad (3.38)$$

По аргументу n справедливо следующее функциональное уравнение

$$\Gamma(n+1, z) = n\Gamma(n, z) + z^n e^{-z}. \quad (3.39)$$

Для любого n уравнение (3.38) с учетом рекуррентного соотношения (3.39) имеет вид:

$$\frac{1}{(n-1)!} z^{n-1} + \frac{1}{(n-2)!} z^{n-2} + \dots + \frac{1}{1!} z + 1 = d^B e^z, \quad (3.40)$$

а условие существования его решения при условии $0 \leq \rho^B \leq 1$ есть [11]

$$-\ln d^B \leq \zeta - \ln \sum_{k=0}^{n-1} \frac{\zeta^k}{k!} \quad (3.41)$$

Если это условие не выполняется, то при заданных d^B, n и ζ трафик класса B службой VBRrt принципиально не может быть обслужен.

Левая часть уравнения (3.40) есть полином степени $n-1$ относительно переменной z . Для решения приведенного выше трансцендентного уравнения (3.40) может быть построена итерационная процедура, для чего прологарифмировав это уравнение и разрешив его относительно z , получим

$$z = \ln\left(\frac{1}{(n-1)!} z^{n-1} + \frac{1}{(n-2)!} z^{n-2} + \dots + \frac{1}{1!} z + 1\right) - \ln d^B.$$

Можно показать, что нелинейный оператор, стоящий в правой части этого уравнения – сжимающий. Следовательно, возможно построение итерационной процедуры

$$z_{k+1} = \ln\left(\frac{1}{(n-1)!} z_k^{n-1} + \frac{1}{(n-2)!} z_k^{n-2} + \dots + \frac{1}{1!} z_k + 1\right) - \ln d^B, \quad k=0,1,2,\dots$$

(с начальным значением $z_0 = 2n$). В пределе

$$z = \lim_{k \rightarrow \infty} z_k. \quad (3.42)$$

Именно таким способом были получены значения z , приведенные в табл. 3.1.

Таблица 3.1 - Значения корня z трансцендентного уравнения

$n \backslash d^B$	2	3	5	7	10	13	15
0,005	7,4301	9,2738	12,5941	15,6597	19,9984	24,1450	26,8360
0.01	6,6384	8,4059	11,6046	14,5706	18,7831	22,8208	25,4461
0,03	5,3559	6,9838	9,9610	12,7466	16,7312	20,5730	23,0800

Из выражения (3.37) легко получить выражение для максимальной загрузки VBRrt-соединения речевыми B -ячейками с учетом потерь b^{malty}

$$\widehat{\rho}_{st}^{Bp(g)\max} = \left(1 - \frac{z}{\zeta}\right) = \left(1 - \frac{z(L^{Bp(g)} + H_{ATM})v^B}{v^B \theta_{st}^{Bp(g)} - (L^{Bp(g)} - H_{SAR})} \frac{1}{V}\right). \quad (3.43)$$

Известно, что среднее время T_{ij}^C пребывания меченного требования из класса p в СМО типа $M/M/1$, с учетом введенных выше приоритетов для трафиков классов B и C дается выражением

$$T_{ij}^{Cp(g)} = \frac{L^{Bp(g)} + H_{ATM}}{V} + \frac{\frac{L^{Cp(g)} + H_{ATM}}{V} \widehat{\rho}_{ij}^{Cp(g)} + \frac{L^{Bp(g)} + H_{ATM}}{V} \widehat{\rho}_{ij}^{Bp(g)}}{1 - \widehat{\rho}_{ij}^{Bp(g)} - \widehat{\rho}_{ij}^{Cp(g)}} + \widehat{\rho}_{ij}^{Bp(g)} T_{ij}^{Cp(g)}. \quad (3.44)$$

Общее среднее время пребывания ячейки данных $T_{st}^{Cp(g)}$ в n -звенном однородном ABR-канале передачи, включая задержку, связанную с накоплением информационной части ячейки в оконечной системе, дается выражением

$$T_{st}^{Cp(g)} = n \frac{\frac{L^{Cp(g)} + H_{ATM}}{V}}{(1 - \widehat{\rho}_{st}^{Bp(g)})(1 - \widehat{\rho}_{st}^{Bp(g)} - \widehat{\rho}_{st}^{Cp(g)})} + T_{pac}^{Cp(g)}, \quad (3.45)$$

где $T_{pac}^{Cp(g)} = \frac{L^{Cp(g)} - H_{SAR}^{ABR}}{\omega^C}$. Для однородного n -звенного ABR-канала $\widehat{\rho}_{ij}^{Cp(g)} =$

$\widehat{\rho}_{st}^{Cp(g)}$ и дается выражением

$$\widehat{\rho}_{st}^{Cp(g)} = 1 - \widehat{\rho}_{st}^{Bp(g)} - \left[\frac{L^{Cp(g)} + H_{ATM}}{T_{st}^{Cp(g)} - T_{pac}^{Cp(g)}} \right] \frac{n}{(1 - \widehat{\rho}_{st}^{Bp(g)})V}. \quad (3.46)$$

Отметим, что в отличие от низкоскоростных и среднескоростных ЦСИС в ИТС на технологии ATM восстановление поврежденных сообщений данных осуществляется только на уровне AAL. На подуровне сегментации и сборки SAR AAL, формируется единый протокольный блок уровня (48-байтный сегмент), который на уровне ATM упаковывается в 53-байтные ячейку. В цифровом тракте любая ячейка передается единым образом вне зависимости от типа информации.

Текущее значение $\widehat{\rho}^{Bp(g)}$ в формулах (3.43), (3.44), (3.45) и (3.46) можно вычислить следующим образом. Пусть текущая нагрузка в канале $ij \in R_{st}^B$ равна $\widehat{a}_{ij}^{Bp(g)} = \sum_{st \in S^B} \widehat{a}_{st}^{Bp(g)}$ (эрл), где $\widehat{a}_{st}^{Bp(g)}$ - суммарная речевая нагрузка, создаваемая в тракте $\forall st \in S^{Bp(g)}$ в рамках устанавливаемых мультимедийных соединений. Учитывая введенные ранее обозначения можно определить эффективную скорость переноса речевого трафика в VBRrt-тракте, как

$$\widehat{V}_{st}^{Bp(g)} = \eta^{Bp(g)} z^{Bp(g)} v^B \widehat{a}_{st}^{Bp(g)}, \quad (3.47)$$

где $\eta^{Bp(g)}$, $z^{Bp(g)}$ - коэффициенты, учитывающие соответственно процедуру уплотнения пауз в речевых соединениях и способы сжатия речевых сигналов. С другой стороны минимальная эффективная скорость передачи речевого трафика в $VBRrt$ -тракте определяется выражением $\widehat{V}_{st}^{Bp(g)} = V K_{st}^{Bp(g)} = \frac{L^{Bp(g)} - H_{SAR}^{VBRrt}}{L^{Bp(g)} + H_{ATM}} \widehat{\rho}_{st}^{Bp(g)} V$. Откуда получаем ограничение на максимально возможную удельную загрузку $\widehat{\rho}_{st}^{Bp(g)}$

$$\widehat{\rho}_{st}^{Bp(g)} = \frac{L^{Bp(g)} - H_{SAR}^{VBRrt}}{L^{Bp(g)} + H_{ATM}} \frac{v^B}{V} \widehat{a}_{st}^{Bp(g)} \eta^{Bp(g)} z^B \leq \widehat{\rho}_{st}^{Bp(g) \max} \quad (3.48)$$

Модели составного транспортного логического канала в терминах минимальной пропускной способности пакетной ИТС-АТМ уровня АТМ, с учетом введенных предположений и допущений имеют вид

$$V_{st,ATM}^{Bp(g) \max} = V \frac{L^{Bp(g)}}{L^{Bp(g)} + H_{ATM}} \left(1 - \frac{z(L^{Bp(g)} + H_{ATM})v^B}{v^B \theta_{st}^{Bp(g)} - (L^{Bp(g)} - H_{SAR}^{VBRrt})} \frac{1}{V} \right) \quad (3.49)$$

$$V_{st,ATM}^{Cp(g)} = \frac{L^{Cp(g)}}{L^{Cp(g)} + H_{ATM}} \left(1 - \widehat{\rho}_{st}^{Bp(g)} - \left[\frac{L^{Cp(g)} + H_{ATM}}{T_{st}^{Cp(g)} - T_{pac}^{Cp(g)}} \right] \frac{n}{(1 - \widehat{\rho}_{st}^{Bp(g)})V} \right). \quad (3.50)$$

3.2.1.3. Аналитические модели однородных пакетных логических соединений физического уровня АТМ

На основании результатов раздела 2 уровневые критерии эффективности использования логических соединений физического уровня АТМ имеют вид

$$V_{st,Ph}^{Bp(g)} = V \frac{L^{Bp(g)} + H_{ATM}}{L^{Bp(g)} + H_{ATM} + H_{TS} + H_{PM}}, \quad (3.51)$$

$$V_{st,Ph}^{Cp(g)} = V \frac{L^{Cp(g)} + H_{ATM}}{L^{Cp(g)} + H_{ATM} + H_{TS} + H_{PM}}, \quad (3.52)$$

Однако, не теряя общности рассуждений можно предположить, что $K_{st,PH}^B = K_{st,Ph}^C \approx 1$.

3.2.2. Модели уровневых логических соединений гибридной инфтелекоммуникационной АТМ-системы

Как уже отмечалось выше, гибридная ИТС-АТМ характеризуется тем, что транспортное соединение для речевого трафика формируется с «квазижестким» закреплением физических ресурсов сети за соединением,

т. е. для трафика этого класса осуществляется подключение канала передачи, аналогичное режиму виртуальной коммутации каналов, что приводит к отсутствию соревнования за физический ресурс сети в течение всего времени существования транспортного соединения. При этом паузы в речевом трафике не уплотняются потоком данных.

3.2.2.1. Аналитические модели однородных гибридных транспортных логических соединений уровня адаптации АТМ

Параметры однородной гибридной ИТС аналогичны соответствующим параметрам пакетной ИТС на технологии АТМ. Однако на подуровне конвергенции *CS AAL* уже нельзя положить $s^A \rightarrow \infty$ так как в гибридной ИТС отсутствуют пакетизаторы речи, уплотняющие речевой трафик за счет естественных пауз. Используя выражение для N^A и $s^A = v^A \int_0^{\infty} t dF^A(t)$ для K_{ij}^A получим:

$$K_{ij}^A = \frac{v^A \int_0^{\infty} t dF^A(t)}{h^A (x+1) \sum_{k=1}^{\infty} k \left[F^A\left(\frac{h^A}{v^A} xk\right) - F^A\left(\frac{h^A}{v^A} x(k-1)\right) \right]}, \quad (3.53)$$

где $F^A(t)$ распределение продолжительности речевого фрагмента во времени, $x = \frac{L^A}{h^A} - 1 = \frac{L^A + H_{ATM}}{H_{SAR}^{CBR} + H_{ATM}} - 1$. В частном случае, если на подуровне конвергенции *CS AAL* длительности активных речевых фрагментов распределены по экспоненциальному закону с параметром $\frac{1}{\tau^A}$, то $\frac{s^A}{N^A} = v^A \tau^A (1 - e^{-\frac{L^A - H_{SAR}^{CBR}}{v^A \tau^A}})$, где $\tau^A = \int_0^{\infty} t dF^A(t)$.

Критерии эффективности использования составного транспортного логического канала в терминах минимальной пропускной способности ИТС-АТМ на уровне *AAL*, с учетом предположений и допущений раздела 3.1, имеют вид

$$K_{st,AAL}^A = \frac{v^A \int_0^{\infty} t dF^A(t)}{h^A (x+1) \sum_{k=1}^{\infty} k \left[F^A\left(\frac{h^A}{v^A} xk\right) - F^A\left(\frac{h^A}{v^A} x(k-1)\right) \right]} L \quad (3.54)$$

$$K_{st,AAL}^{Cg} = \frac{L^{Cg} - H_{SAR}^{ABR}}{L^{Cg}} \left(-\frac{p_0}{1-p_0} \ln p_0 \right) \quad (3.55)$$

3.2.2.2. Аналитические модели однородных гибридных логических соединений уровня АТМ

Математическая модель, описывающая процесс передачи речевого трафика класса A и данных класса C по однородному логическому каналу уровня АТМ в гибридной ИТС-АТМ, может быть представлена в виде однолинейной многофазной СМО, в которой речевой трафик обслуживается с абсолютным приоритетом и с блокировкой входящего потока вызовов, а трафик данных класса C - с блокировкой входящего потока вызовов и ожиданием. На рисунке 3.2. представлена модель логического соединения уровня АТМ в гибридной ИТС-АТМ в режиме установленного соединения.

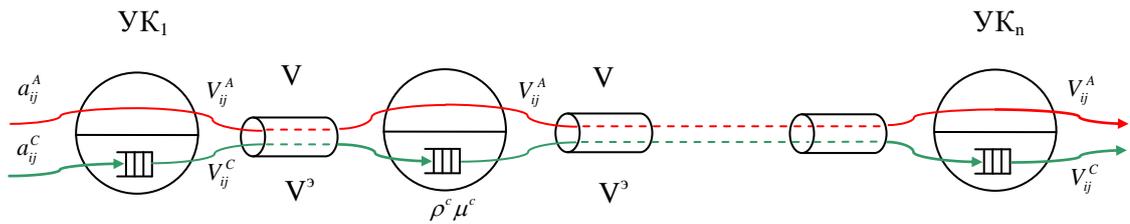


Рис.3.2. Модель n -звенного однородного логического соединения уровня АТМ в гибридной ИТС-АТМ

Для речевого трафика n -звенный однородный транспортный канал совместно с соответствующей ему частью памяти УК моделируется однозвенной СМО (т. е. весь n -звенный СВР-канал представляется одним составным ЛЦГ). Для трафика класса C однородный n -звенный АВР-канал состоит из n последовательно включенных ЛЦГ, каждый из которых совместно с соответствующей ему частью памяти коммутатора моделируется СМО $M/M/1/\infty$, причем при расчете числовых характеристик транспортного канала гибридной ИТС-АТМ для нагрузки данных имеют место все предложения, изложенные выше. Пусть a_{st}^A заданная величина речевого трафика класса A (эрл), которую должен пропустить тракт при потерях b^{maly} . По этим значениям и таблицам с табулированной 1-ой формулой Эрланга находится необходимое число «речевых» каналов $\hat{\Theta}_{st}^A = \Theta^A(a_{st}^A, b^{maly})$. Эта величина должна удовлетворять неравенству $\hat{\Theta}_{st}^A \leq \Theta_{st}^A$, где Θ_{st}^A - максимально возможное число эквивалентных «речевых» каналов, которое может быть организовано в тракте передачи гибридной ИТС на уровне АТМ. Последнее определяется соотношением

$$\Theta_{st}^A = \frac{L^A}{L^A + H_{ATM}} \frac{V}{v^A}. \quad (3.56)$$

Минимальная скорость передачи для пропущенного речевого трафика класса A в ЛЦГ с учетом потерь b^{maly} равна:

$$V_{st}^{A \min} = v^A \widehat{a}_{st}^A. \quad (3.57)$$

Трафик класса C обслуживается оставшейся канальной емкостью $V_{st,ATM}^\varnothing = V^\varnothing$ каждого ЛЦТ, т. е. той его частью, которая остается за вычетом числа эквивалентных «речевых» каналов, необходимых для обслуживания с заданным качеством b^A речевого трафика \widehat{a}_{st}^A . Следовательно:

$$V^\varnothing = \Theta_{st}^A - v^A \widehat{a}_{st}^A \quad (3.58)$$

(Для систем с неподвижной физической или логической границей величину \widehat{a}_{st}^A следует заменить на Θ_{st}^A).

Согласно формулы Литла среднее время пребывания пакета данных в n -звенном однородном тракте передачи (каждый канал звена совместно с соответствующей ему частью памяти узла коммутации моделируется СМО $M/M/1/\infty$), включая задержку, связанную с накоплением информационной части пакета у абонента, равно

$$T_{st}^{Cg} = n \frac{1}{\mu^{Cg} (1 - \widehat{\rho}_{st}^{Cg})} + \frac{L^{Cg} - H_{SAR}^{ABR}}{\omega^C} \quad (3.59)$$

или

$$T_{st}^{Cg} = n \frac{L^{Cg} + H_{ATM}}{V^\varnothing (1 - \widehat{\rho}_{st}^{Cg})} + \frac{L^{Cg} - H_{SAR}^{ABR}}{\omega^C}, \quad (3.60)$$

где $\mu^{Cg} = \frac{V^\varnothing}{L^{Cg} + H_{ATM}}$ - есть величина, обратная средней длительности ячейки данных в каждом отдельном ЛЦТ, моделируемом СМО типа $M/M/1/\infty$. Предположим, что при известных \widehat{a}_{ij}^A для подсети СВР с эмуляцией каналов заданной топологии, вычислены потери на каждом ребре сети b^{malty} и определены максимальные значения $\Theta_{ij}^{A \max}$. При сделанных выше допущениях, максимально возможная удельная загрузка составного тракта $\widehat{\rho}_{st}^{Cg \max}$ при заданной входной речевой нагрузке \widehat{a}_{ij}^A и среднем времени T_{ij}^{Cg} пребывания ячейки данных в ЛЦТ с учетом потерь по вызовам b^{malty} дается выражением

$$\widehat{\rho}_{st}^{Cg} = 1 - n \frac{L^{Cg} + H_{ATM}}{(T_{st}^{Cg} - \frac{L^{Cg} - H_{SAR}^{ABR}}{\omega^C}) V^\varnothing}. \quad (3.61)$$

Отсюда легко получить среднюю эквивалентную скорость $V_{st,ATM}^{Cg}$ передачи трафика класса C .

$$V_{st,ATM}^{Cg} = V^{\vartheta} \frac{L^{Cg}}{L^{Cg} + H_{ATM}} \left(1 - n \frac{L^{Cg} + H_{ATM}}{(T_{st}^{Cg} - \frac{L^{Cg} - H_{SAR}^{ABR}}{\omega^C}) V^{\vartheta}} \right). \quad (3.62)$$

3.2.3. Аналитические модели комплексных критериев эффективности пакетных и гибридных инфотелекоммуникационных АТМ-систем

Комплексные критерии эффективности использования пропускной способности составных трактов сети АТМ соответственно трафиками классов A, B и C , обслуживаемыми различными службами в режиме установленного соединения с учетом мультипликативной формы их представления и результатов, полученных в разделе 3.1.2, соответственно имеют вид:

а) для **пакетной** системы

$$K_{st}^{Bp(g)} = \frac{L^{Bp(g)} - H_{SAR}^{VBRrt}}{L^{Bp(g)} + H_{ATM} + H_{TS} + H_{PM}} \left(1 - \frac{z(L^{Bp(g)} + H_{ATM}) v^B}{v^B \theta_{st}^{Bp(g)} - (L^{Bp(g)} - H_{SAR}^{VBRrt}) V} \frac{1}{V} \right)$$

$$K_{st}^{Cp(g)} = \frac{L^{Cp(g)} - H_{SAR}^{ABR}}{L^{Cp(g)} + H_{ATM} + H_{TS} + H_{PM}} \left(1 - \tilde{\rho}_{st}^{Bp(g)} - \left[\frac{L^{Cp(g)} + H_{ATM}}{T_{st}^{Cp(g)} - T_{pac}^{Cp(g)}} \right] \frac{n}{(1 - \tilde{\rho}_{st}^{Bp(g)}) V} \right)^{\left(-\frac{p_0}{1 - p_0} \ln p_0 \right)} \quad (3.63)$$

б) для **гибридной** системы

$$K_{st}^{Ag} = \frac{v^A \int_0^{\infty} t dF^A(t)}{h^A (x+1) \sum_{k=1}^{\infty} k \left[F^A\left(\frac{h^A}{v^A} xk\right) - F^A\left(\frac{h^A}{v^A} x(k-1)\right) \right] (L + H_{ATM})}$$

$$K_{st}^{Cg} = \frac{L^{Cg} - H_{SAR}^{ABR}}{L^{Cg} + H_{ATM} + H_{TS} + H_{PM}} \left(1 - n \frac{L^{Cg} + H_{ATM}}{(T_{st}^{Cg} - \frac{L^{Cg} - H_{SAR}^{ABR}}{\omega^C}) V^{\vartheta}} \right)^{\left(-\frac{p_0}{1 - p_0} \ln p_0 \right)}. \quad (3.64)$$

3.2.4. Аналитические модели качественных параметров инфотелекоммуникационной АТМ-системы

В пакетной ИТС-АТМ для трафика класса B в качестве основного ограничения также выступает вероятность превышения d^B заданного времени $\theta_{st}^{Bp(g)}$ пребывания B -ячеек в системе, с учетом дисциплины их

обслуживания в коммутаторах с абсолютным приоритетом по отношению к ячейкам класса C .

В пакетной ИТС-АТМ ограничение задачи анализа для трафика класса B принимает вид

$$1 - F_{st}^{Bp(g)}(\theta_{st}^{Bp(g)}) \leq d^B, \quad \forall st \in S^{Bp(g)} : a_{st}^{Bp(g)} \neq 0, \quad (3.65)$$

а ограничение задачи анализа на заданное среднее время доставки в сеансе связи $T_{st}^{Cp(n)}$ ячеек (пакетов) данных класса C с учетом выше сформулированных допущений имеет вид

$$T_{st}^{Cp(g)} = n(T_{ij}^{Cp(n)} + T_i^{Cp}) - \frac{L^{Cp(g)} - H_{SAR}^{ABR}}{\omega^C} \leq T^{Cp(g)} \quad (3.66)$$

Для всех $st \in S^{Cp(g)} : a_{st}^{Cp(g)} \neq 0$ это есть основное ограничение задачи анализа пакетной ИТС-АТМ для трафика данных класса C .

Используя критерии эффективности системы номинальную эффективную скорость для передачи речевого трафика класса B в $VBRrt$ составном тракте $st \in S^B$ можно определить как

$$V_{st}^{Bp(g)\min} = V \frac{L^{Bp(g)} - H_{SAR}^{VBRrt}}{L^{Bp(g)} + H_{ATM} + H_{TS} + H_{PM}} \left(1 - \frac{z(L^{Bp(g)} + H_{ATM})v^B}{v^B \theta_{st}^{Bp(g)} - (L^{Bp(g)} - H_{SAR}^{VBRrt})} \frac{1}{V}\right) \quad (3.67)$$

а для передачи трафика класса C в $ABR(VBRnrt)$ тракте $st \in S^C$

$$V_{st}^{Cp(g)\min} = V \frac{L^{Cp(g)} - H_{SAR}^{ABR}}{L^{Cp(g)} + H_{ATM} + H_{TS} + H_{PM}} \left(1 - \tilde{\rho}_{st}^{Bp(g)} - \left[\frac{L^{Cp(g)} + H_{ATM}}{T_{st}^{Cp(g)} - T_{pac}^{Cp(g)}} \right] \frac{n}{(1 - \tilde{\rho}_{st}^{Bp(g)})V} \right) \left(-\frac{p_0}{1 - p_0} \ln p_0\right) \quad (3.68)$$

Пара $(\tilde{a}_{st}^{Bp(g)}, V_{st}^{Cp(g)\min})$ характеризует эффективность передачи смешанного трафика по составному тракту $st \in S^k$ пакетной ИТС АТМ с заданными условиями передачи. Показателем качества работы ИТС может служить коэффициент относительного использования тракта передачи $st \in S^k$ на транспортном уровне:

$$R_{st}^{p(g)} = [V_{st}^{Bp(g)}(1 - d^B) + V_{st}^{Cp(g)}(1 - d^C)]/V \quad (3.69)$$

В гибридной ИТС для трафика класса A в качестве основного ограничения выступает только заданная вероятность потерь по вызовам b^{malty} на произвольной (в нашем случае заданной) топологии при выделении переменного сетевого ресурса на фазе установления виртуальных соединений для нагрузки класса A (в предположении $d^A \approx 0$

). Ограничение на заданное среднее время доставки в сеансе связи T_{st}^C ячеек данных класса C аналогично ограничению в пакетной системе. Минимальная эффективная скорость для передачи трафика класса A в составном CBR -тракте $st \in S^A$ равна

$$V_{st}^{A \min} = \frac{v^A \int_0^{\infty} t dF^A(t)}{h^A(x+1) \sum_{k=1}^{\infty} k \left[F^A\left(\frac{h^A}{v^A} xk\right) - F^A\left(\frac{h^A}{v^A} x(k-1)\right) \right] (L^A + H_{ATM})} v^A \hat{a}_{st}^A. \quad (3.70)$$

Минимальная эффективная скорость для передачи трафика класса C в составном $ABR(VBRnrt)$ тракте $st \in S^{C_g}$ определяется критерием эффективности $K_{st}^{C_g}$ и равна

$$V_{st}^{C_g \min} = V^{\varnothing} \frac{L^{C_g} - H_{SAR}^{C_g}}{L^{C_g} + H_{ATM}} \left(1 - n \frac{L^{C_g} + H_{ATM}}{(T_{st}^{C_g} - \frac{L^{C_g} - H_{SAR}^{C_g}}{\omega^C}) V^{\varnothing}} \right) \left(-\frac{p_0}{1-p_0} \ln p_0 \right). \quad (3.71)$$

Пара $(\hat{a}_{st}^A, V_{st}^{C_g \min})$ характеризует эффективность передачи смешанного трафика по тракту st гибридной ИТС-АТМ с заданным качеством обслуживания. Показателем качества работы гибридной ИТС-АТМ может служить также коэффициенты использования цифрового тракта передачи на транспортном уровне:

$$R_{st}^g = [V_{st}^{A \min} + V_{st}^{C_g \min}] / V. \quad (3.72)$$

Вопросы для самопроверки

1. Опишите процесс построения аналитических моделей процессов функционирования неоднородной инфотелекоммуникационной транспортной IP-QoS-системы
2. Приведите вывод аналитических моделей уровневых логических соединений IP-QoS-ИТС
3. Приведите вывод аналитических моделей комплексных критериев эффективности IP-QoS-ИТС
4. Приведите аналитическое описание показателей качества IP-QoS-ИТС
5. Опишите процесс построения аналитических моделей функционирования ИТС-АТМ
6. Приведите вывод аналитических моделей уровневых однородных пакетных логических соединений ИТС-АТМ
7. Приведите вывод аналитических моделей уровневых однородных гибридных логических соединений ИТС-АТМ
8. Приведите вывод аналитических моделей комплексных критериев эффективности ИТС-АТМ

9. Приведите аналитическое описание качественных показателей ИТС-АТМ)

Тема 4. Методы и алгоритмы анализа ИТС



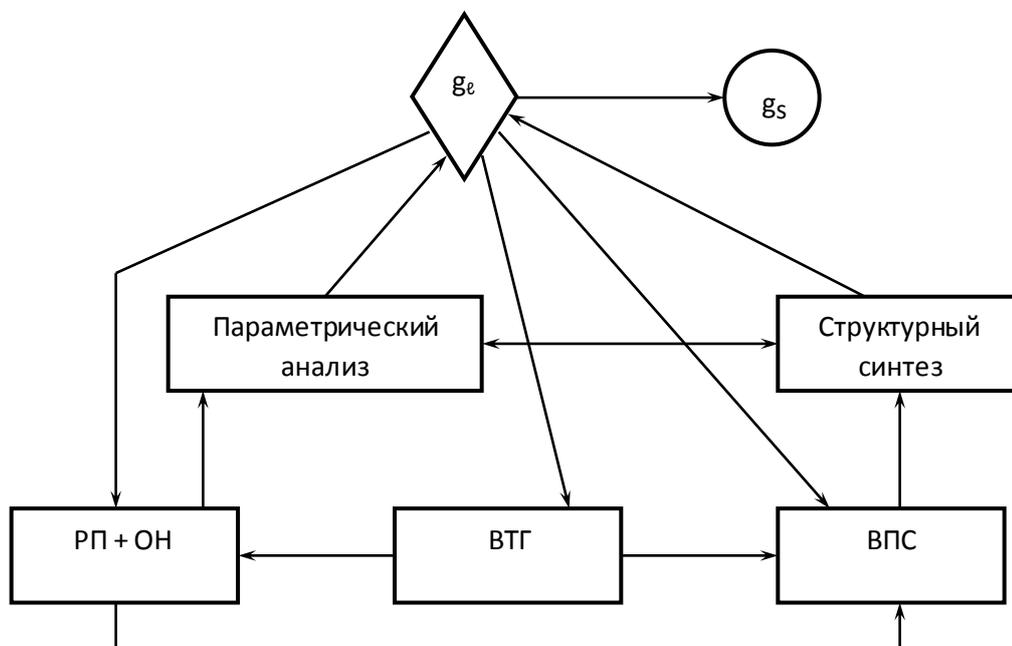
При работе с данным разделом Вам предстоит:

1) Изучить: Анализ неоднородных ИТС-IP-QoS (Постановка задачи анализа ИТС-IP-QoS в терминах критериев эффективности. Метод решения задачи. Алгоритм анализа неоднородной ИТС-IP-QoS). Анализ однородных ИТС-АТМ (Постановка задачи анализа ИТС-АТМ в терминах критериев эффективности. Методы решения задач анализа однородных пакетных и гибридных АТМ-СІF-систем. Алгоритмы анализа. Алгоритм сравнительного анализа пакетных и гибридных АТМ-СІF-систем).

В качестве базовой структурно-сетевой задачи, как правило, выступает задача оптимизации структуры, которая включает в свой состав как минимум три частные задачи:

- выбор топологии графа (ВТГ), заключающийся в определении оптимального числа вершин и ребер, соединяющих вершины;
- распределение потоков (РП), сводящееся к поиску оптимальных маршрутов передачи потоков информации и расчету интенсивностей потоков в отдельных ЛЦТ. При этом задача РП может включать в себя задачу ограничения порогов нагрузки (ОН) по внешнему трафику каждого класса;
- выбор пропускных способностей (ВПС) ЛЦТ сети из заданного дискретного ряда.

Проектирование любой сети связи является сложным итерационным процессом и в первую очередь включает в себя **задачу анализа** (рис. 4.1), а именно, - определение по входным характеристикам сети (типу, величине и интенсивности входной нагрузки) и ее параметрам



(топологии, пропускной способности, показателей надежности, системе маршрутизации) - выходных характеристик (допустимых нагрузок по различным направлениям связи, ВВХ и т. п.

Рис.4.1. Графовая трактовка задачи оптимизации структуры сети

Цель анализа - исследование устойчивости интегральных показателей к внешним и внутренним параметрам сети, выявление «узких» мест и выработка предложений по их устранению. При этом анализ сети осуществляется при поисках оптимальной топологии сети, синтезе пропускной способности ЛЦТ, поиске оптимального плана распределения потоков и др. Разработчик вначале рассматривает

макроструктуру сети, оценивает ее параметры и рассчитывает характеристики ее элементов. После этого следует уточнение решений. По своей сути задача анализа носит поисковый характер и решается на каждом шаге итерационного процесса направленным комбинированием входных параметров сети с одновременным анализом выходных характеристик. При этом используется, как правило, одномерный критерий оптимизации и целый ряд допущений. В зависимости от «логического наполнения» оператора-распознавателя g_l , выполняющего перехода по условию, возможны: возврат к задаче перераспределения пропускных способностей ЛЦТ; внесение изменений в топологию сети; обращение к подалгоритму расчета плана ограничения нагрузки. После этого может осуществляться еще один цикл вышеупомянутых процедур.

Анализ сети важен также и при решении задач планирования связи, которые являются основой автоматизированных систем управления связью.

Для мультисервисной сети задача анализа сохраняет содержание и важность, но приобретает некоторые особенности, связанные с противоречивыми требованиями к передаче мультимедийного трафика в общей физической среде [14]. При этом требуется и «интеграция» соответствующих методов анализа в рамках единой модели.

Ниже развиваются методы анализа процессов функционирования однородных и неоднородных ИТС (как разомкнутых сетей массового обслуживания) на основе аналитических моделей и принципов, разработанных и сформулированных в разделе 3.

4.1. Анализ неоднородных ИТС-IP-QoS

4.1.1. Постановка задачи анализа процессов функционирования инфотелекоммуникационной IP-QoS-системы в терминах критериев эффективности

Принцип единственности услуги предписывает проводить анализ эффективности функционирования ИТС в терминах комплексных функциональных критериев эффективности систем с учетом их условной зависимости и ограничений на качественные показатели обслуживания мультимедийного соединения в рамках предоставления единой транспортной услуги.

При этом задача анализа ИТС формулируется следующим образом. Необходимо оценить: может ли мультимедийный трафик различной природы заданной структуры и объема Y^{multy} , пропущенный на фазе установления соединения, быть обслужен системой при условии соблюдения ограничений на QoS-нормы переноса в рамках единой транспортной услуги. При этом если такой перенос возможен, то необходимо определить предельные его значения, а в случае невозможности переноса, - максимально допустимые значения, при

которых еще возможно заданное качество обслуживания. Содержание задачи анализа можно конкретизировать как задачу выбора оптимальных значений параметров системы в смысле заданного критерия ее эффективности.

Сформулируем задачу анализа процессов функционирования ИТС-QoS с учетом результатов разделов 2 и 3.

Итак, при заданной топологии ИКС-QoS, структуре мультимедийных потоков и заданной системе маршрутов найти значения ρ_{ij}^{Bp} и L_{ij}^{Bp} , доставляющих максимум функционалу

$$\arg \max_{\rho_{ij}^{Bp}, L_{ij}^{Bp}} K^{Bp} = \arg \max_{\rho_{ij}^{Bp}, L_{ij}^{Bp}} r^{Bp} \sqrt{\sum_{st \in S^B} \frac{\hat{a}_{st}^{Bp}}{\hat{Y}^{multy}} \left[\frac{L^{Bp} - H_{IP}}{L^{Bp} + H_{NA}} \sum_{m=1}^{M_{st}^{Bp}} p_{st,m}^{Bp} \prod_{ij \in I_{st,m}^{Bp}} \left(\frac{L^{Bp} + H_{NI}}{L^{Bp} - H_{IP}} \frac{v^B}{V_{ij}} \hat{a}_{ij}^{Bp} z^{Bp} \eta^{Bp} \right)^p \right]} r^{Bp}, \quad (4.1)$$

$$r^{Bp} = \left| l_{st,m}^{Bp} \right|, \text{ при условиях } b_{ij} \leq b^{multy},$$

$$\sum_{m=1}^{M_{st}^{Bp}} p_{st,m}^{Bp} (1 - F_{st,m}^{Bp}(\theta_{st}^{Bp})) \leq d^{Bp},$$

$$L^{Bp} \triangleleft \theta_{st}^{Bp} v^{Bp} - H_{IP},$$

$$0 \leq \rho_{ij}^{Bp} \triangleleft 1, \forall st \in S^B : a_{st}^{Bp} \neq 0. \quad (4.2)$$

По полученным значениям $\rho_{ij}^{Bp \max}$ и L_{opt}^{Bp} найти значения $\rho_{ij}^{Cp \max}$ и L_{opt}^{Cp} , доставляющих максимум функционалу

$$\arg \max_{\rho_{ij}^{Cp}, L_{ij}^{Cp}} K^{Cp} = \arg \max_{\rho_{ij}^{Cp}, L_{ij}^{Cp}} r^{Cp} \sqrt{\sum_{st \in S^C} \frac{\hat{a}_{st}^{Cp}}{\hat{Y}^{multy}} \left[\beta_{st}^{Cp} \frac{L^{Cp} - H_{IP}}{L^{Cp} + H_{NA}} \sum_{m=1}^{M_{st}^{Cp}} p_{st,m}^{Cp} \prod_{ij \in I_{st,m}^{Cp}} \left(1 - \rho_{ij}^{Bp} - \frac{L^{Cp} + H_{NI}}{T_{ij}^{Cp} V_{ij}} - \frac{\rho_{ij}^{Bp}}{1 - \rho_{ij}^{Bp}} \frac{L^{Bp} + H_{NI}}{T_{ij}^{Cp} V_{ij}} \right)^p \right]} r^{Cp}, \quad (4.3)$$

$$r^{Cp} = \left| l_{st,m}^{Cp} \right|,$$

при ограничениях

$$b_{ij} \leq b^{multy}$$

$$H_{IP} \triangleleft L^{Cp}$$

$$L^{Cp} \triangleleft T^{Cp} \omega^{Cp} - H_{IP}$$

$$T_{st,m}^{Cp} = \sum_{m=1}^{M_{st}^{Cp}} p_{st,m}^{Cp} \int_0^{\infty} f_{st,m}^{Cp}(t) dt - \frac{L^{Cp} - H_{IP}}{\omega^{Cp}} \leq T^{Cp} \quad (4.4)$$

и все параметры первой задачи найдены и фиксированы [14]. Решив задачи (4.1) и (4.3), получим оптимальные длины речевых пакетов и пакетов данных, а также максимально допустимые загрузки ЛЦТ речевым трафиком и пакетов данных для заданных ограничений и распределения потоков в рамках мультимедийного соединения.

Предположим, что задачи (4.1) и (4.3) решены и определены оптимальные длины пакетов и максимально допустимые значения $\rho_{ij}^{Bp \max}$ и $\rho_{ij}^{Cp \max}$.

Для того чтобы осуществить перенос через ИТС заданных объемов Y^B речевого трафика с требуемым качеством d^B и заданным распределением потоков в рамках сетевых мультимедийных соединений, необходимо выполнение системы неравенств $\rho_{ij}^{Bp} \leq \rho_{ij}^{Bp \max} \quad \forall ij \in J$.

Если на каком-либо ЛЦТ $\forall ij \in J$ это условие не выполняется, то все речевые потоки заданных объемов не могут быть пропущены с заданным качеством обслуживания через систему.

Для пропускания через систему потоков данных заданных объемов должно выполняться условие

$$\Theta^{\min} \widehat{a}_{ij}^{Cp} \leq V_{ij}^{Cp \min}, \quad \forall ij \in J. \quad (4.5)$$

Если на каком-либо ЛЦТ $\forall ij \in J$ это условие не выполняется, то для всех $a_{ij}^{Cp} \neq 0: ij \in L_{ij}^{Cp}$ потоки данных заданных объемов не могут быть пропущены через систему с заданным качеством обслуживания. Пара $(\widehat{a}_{ij}^{Bp}, V_{ij}^{Cp \min})$ характеризует эффективность передачи смешанного трафика по тракту st инфокоммуникационной сети на технологии IP-QoS с заданным качеством обслуживания.

Результаты, полученные в результате решения задач анализа, могут быть востребованы на последующих этапах проектирования сетей указанного класса или планирования связи, либо как шаг итерации в задачах синтеза ИТС, которые будут рассмотрены в разделе 5.

4.1.2. Метод решения задачи анализа неоднородной инфотелекоммуникационной IP-QoS-системы

Задачи анализа ИТС (4.1) и (4.3) формулируются в виде многокритериальных оптимизационных задач, при решении которых в качестве переменных оптимизации варьируются коэффициенты загрузки системы разнородным трафиком ρ_{ij}^k , т. е. фактически идет поиск варьированием объемами входных многокомпонентных информационных потоков в рамках предоставления инфокоммуникационной услуги связи. Это означает, что при заданной структуре статических маршрутов R_{st}^{kp} каждой реализации соответствует некоторые контрольные матрицы Y^{kp} при поиске значений ρ_{ij}^{Bp} и ρ_{ij}^{Cp} . При этом для каждого значения входа по всему множеству маршрутов R_{st}^{Bp} и R_{st}^{Cp} тракта $st \in S^k$ отыскиваются оптимальные значения длин соответствующих протокольных блоков L_{opt}^{Bp} и L_{opt}^{Cp} . Задачи (4.1) и (4.3) решаются одновременно для всей сети с использованием функционалов K^{Bp} и K^{Cp} , которые максимизируются для всех $st \in S^k$, имеющих ненулевые потоки. Оптимизация общих функционалов K^{Bp} и K^{Cp} проводится поэтапно с учетом их условной зависимости. Сначала оптимизируется в рамках предоставления

инфокоммуникационной услуги связи функционал использования ЛЦТ трафиком класса B , затем вычисляется максимум функционала использования ЛЦТ трафиком данных K^{Cp} при условии, что параметры функционала K^{Bp} оптимальны.

Задачи (4.1) и (4.3) относятся к классу задач нелинейного программирования с ограничениями типа неравенств, которые решаются численными методами с использованием полученных аналитических моделей системы.

Задач параметрического синтеза ИТС-IP-QoS решается методом управляемого скользящего или «нежесткого» допуска [30]. Определение безусловного минимума здесь осуществляется методом деформируемого многогранника, предложенным Нелдером и Мидом, который представляет собой модифицированную процедуру поиска по симплексу или S^2 -методу.

4.1.3. Алгоритм анализа неоднородной инфокоммуникационной IP-QoS-системы

Работа алгоритма симплексного поиска начинается с построения регулярного симплекса в пространстве независимых переменных ρ_{ij}^{Bp} и L^{Bp} и оценивания значений целевой функции K^{Bp} в каждой из вершин симплекса. При этом определяется вершина, которой соответствует наибольшее значение целевой функции. Затем найденная вершина проецируется через центр тяжести остальных вершин симплекса в новую точку, которая используется в качестве вершины нового симплекса. Поиск завершается, когда или размеры симплекса, или разности между значениями функции в вершинах становятся достаточно малыми. С этой целью необходимо задать величину параметра окончания поиска.

Реализация алгоритма основана на вычислениях двух типов: 1) построении регулярного симплекса при заданной начальной (базовой) точке $x^{(0)}$ и масштабном множителе α и 2) расчете координат отраженной точки. Координаты N вершин симплекса в N -мерном пространстве вычисляются по формуле [30]

$$x^{(i)} = \begin{cases} x^{(0)} + \delta_1, & \text{если } j \neq i; \\ x^{(0)} + \delta_2, & \text{если } j = i \end{cases} \quad \text{для } i, j = \overline{1, N}. \quad (4.6)$$

Приращения δ_1 и δ_2 , зависящие только от N и выбранного множителя α , определяются по формуле

$$\delta_1 = \left[\frac{(N+1)^{1/2} + N - 1}{N\sqrt{2}} \right] \alpha, \quad (4.7)$$

$$\delta_2 = \left[\frac{(N+1)^{1/2} - 1}{N\sqrt{2}} \right] \alpha. \quad (4.8)$$

Вычисления второго типа, связанные с отражением относительного центра тяжести. Пусть $x^{(j)}$ – точка, подлежащая отражению. Центр тяжести остальных N точек расположен в точке

$$x_c = \frac{1}{N} \sum_{\substack{i=0 \\ i \neq j}}^N x^{(i)}. \quad (4.9)$$

При отражении симплекса существует возможность как его растяжения, так и сжатия. При расчетах по методу Нелдера и Мида используются вершины симплекса $x^{(j)}$, которой соответствует наибольшее значение целевой функции $f^{(j)}$, $x^{(g)}$, которой соответствует следующее по величине значение целевой функции $f^{(g)}$ и $x^{(l)}$, которой соответствует наименьшее значение целевой функции $f^{(l)}$. Отражение вершины симплекса осуществляется по прямой, проходящей через $x^{(j)}$ и x_c , и задаются формулой:

$$x = x^{(j)} + \lambda(x_c - x^{(j)})$$

или
$$x = x^{(j)} + (1 + \theta)(x_c - x^{(j)}). \quad (4.10)$$

При $\theta=1$ имеет место нормальное отражение (для того чтобы построенный симплекс обладал свойством регулярности, отражение должно быть симметричным). Следовательно, новая вершина получается при $\lambda=2$, т. е.

$$x_{\text{нов}}^{(j)} = 2x_c - x_{\text{пред}}^{(j)}, \quad (4.11)$$

поскольку точка $x_{\text{нов}}^{(j)}$ располагается на расстоянии $\|x_c - x^{(j)}\|$ от точки x_c . Если $-1 \leq \theta < 1$, наблюдается сжатие, а при $\theta > 1$ - растяжение симплекса. Три параметра θ , используемые при нормальном отражении, сжатии и растяжении, обозначаются через α , β и γ соответственно. В качестве параметров α, β, γ Нелдер и Мид рекомендуют использовать $\alpha=1$, $\beta=0,5$ и $\gamma=2$. Уравнение (4.11) устанавливает, что множество отраженных точек описывается вектором, определяющим некоторое направление в пространстве управляемых переменных. Остальные элементы логической структуры поиска связаны лишь с выбором такой величины шага λ , которая позволяет достигнуть заметного «улучшения» значений целевой функции.

Исходными данными к задаче являются: матрицы нагрузок $\hat{Y}^{Bp} = \|\hat{a}_{ij}^{Bp}\|$ и $\hat{Y}^{Cp} = \|\hat{a}_{ij}^{Cp}\|$; заданные системы маршрутов R_{st}^{Bp} и R_{st}^{Cp} , Y^{Bp} , а также векторы ρ_{ij}^{Bp} и ρ_{ij}^{Cp} для всех $st \in S^k$; заданные величины d^B , θ_{st}^{Bp} и T^{Cp} ; скорости абонентских установок речи и данных v^B и ω^C ; параметры заголовков протокольных блоков речи и данных H_{IP} , H_{NA} ; уровень ошибок в

каналах сети p_{out} . Сформулированная задача решается в следующей последовательности. Обозначим Δa_{ij}^{Bp} и Δa_{ij}^{Cp} исходные значения шага уменьшения входящего трафика классов B и C соответственно. Введем служебные вектор-индикаторы I_{ij}^B и I_{ij}^C для всех ЛЦТ ij .

1. Положить $V_{ij} = \eta^{Bp} \nu^B \hat{a}_{ij}^{Bp}$, $I_{ij}^B = 1$ для всех $ij \in l_{st,m}^B$, т. е. полагаем, что все ЛЦТ пропускают заданную речевую нагрузку.

2. При заданных исходных данных решить первую задачу анализа (4.1) методом скользящего допуска и определить значение L_{opt}^{Bp} и $\rho_{ij}^{Bp \max}$ (варьируются $\hat{\rho}_{ij}^{Bp}$ (матрицы входных нагрузок \hat{Y}^{Bp}) и при каждой итерации вычисляются L_{opt}^{Bp} с проверкой на ограничения (4.2)).

3. Если $L_{opt}^{Bp} < H_{IP}$ или имеется хотя бы один ЛЦТ $ij \in J^B$ составного маршрута $st \in S^B$, для которого $\rho_{ij}^{Bp \max} > 1$, то положить $I_{ij}^B = 1$, $\hat{a}_{ij}^{Bp} = \hat{a}_{ij}^{Bp} - \Delta a_{ij}^B$ $\forall ij: \rho_{ij}^{Bp \max} > 1$ и/или $L_{opt}^{Bp} < H_{IP}$ и перейти к шагу 2. Иначе перейти к шагу 4 (либо вывести сообщение, что заданная речевая нагрузка на указанных ЛЦТ не может быть пропущена с заданным качеством обслуживания и перейти к шагу 8).

4. Для найденных значений L_{opt}^{Bp} и $\rho_{ij}^{Bp \max}$, заданной топологии мультисервисной сети $G = (I, J)$, матрицы $\hat{Y}^{Cp} = \|\hat{a}_{ij}^{Cp}\|$ и системы маршрутов R_{st}^{Cp} решить вторую задачу анализа (4.3).

5. Если $L_{opt}^{Cp} \leq H_{IP}$, то положить $\hat{a}_{ij}^{Cp} = \hat{a}_{ij}^{Cp} - \Delta a_{ij}^C$ $\forall ij: L_{opt}^{Cp} \leq H_{IP}$ и перейти к 4. Иначе перейти к 6.

6. Вычислить значения

$$V_{ij}^{Cp \min} = V_{ij} \frac{L^{Cp} - H_{IP}}{L^{Cp} + H_{NA}} \left(1 - \rho_{ij}^{Bp} - \frac{L^{Cp} + H_{NI}}{T_{ij}^{Cp} V_{ij}} - \frac{\rho_{ij}^{Bp}}{1 - \rho_{ij}^{Bp}} \frac{L^{Bp} + H_{NI}}{T_{ij}^{Cp} V_{ij}} \right).$$

7. Если $\hat{a}_{ij}^{Cp} \text{Mark}^{Cp} \Theta_{\min} \leq V_{ij}^{Cp \min} \forall ij \in J$, то «Конец», иначе $I_{ij}^C = 1$, $\hat{a}_{ij}^{Cp} = \hat{a}_{ij}^{Cp} - \Delta a_{ij}^C$ $\forall ij: \hat{a}_{ij}^{Cp} \text{Mark}^{Cp} \Theta_{\min} > V_{ij}^{Cp \min}$ и перейти к 4 (либо вывести сообщение, что заданная нагрузка класса C на указанных ЛЦТ не может быть пропущена с заданным качеством обслуживания и перейти к шагу 8).

8. «Конец».

Результаты решения сформулированной задачи анализа дают верхние оценки для сетей указанного класса.

Общий характер зависимости эффективности передачи от величины речевого трафика следующий [14]. Для речевого трафика ИТС IP-QoS критична к длине пакета и интенсивности его поступления. С ростом речевой нагрузки эффективность ИТС IP-QoS растет и после достижения максимума, падает. С ростом пропускной способности трактов передачи

ЛЦТ эффективность использования ресурса пропускной способности разнородным трафиком ИТС IP-QoS увеличивается.

4.2. Анализ однородных инфотелекоммуникационных транспортных АТМ-систем

4.2.1. Постановка задачи анализа однородных ИТС-АТМ в терминах целевой функции

$$1) \text{ Найти } \arg \max_{L^{Bp(g)}, \rho_{ij}^{Bp(g)}} K^{Bp(g)} \quad (4.12)$$

при условиях $b_{ij} \leq b^{multy}$, $\sum_{m=1}^{M_{st}^{Bp(g)}} \rho_{st,m}^{Bp(g)} (1 - F_{st,m}^{Bp(g)}(\theta_{st}^{Bp(g)})) \leq d^B$ для всех $\forall st \in S^{Bp(g)} : a_{st}^{Bp(g)} \neq 0$, (4.13)

$$2) \text{ Найти } \arg \max_{L^{Cp(g)}, \rho_{ij}^{Cp(g)}} K^{Cp(g)} \quad (4.14)$$

при условиях $b_{ij} \leq b^{multy}$ и $T_{st}^{Cp(g)} \leq T^C \forall st \in S^{Cp(g)} : a_{st}^{Cp(g)} \neq 0$, (4.15)

и все параметры первой задачи найдены и фиксированы. Здесь

$$T_{st}^{Cp(g)} = \left(\sum_{ij \in I_{st,m}^{Cp(g)}} T_{ij}^{Cp(g)} + \sum_{\forall j: ij \in I_{st,m}^{Cp(g)}} T_j^{Cp(g)} \right) + \widehat{T}_{pac}^{Cp(g)} \leq T^C, \quad \sum_{ij \in I_{st,m}^{Cp(g)}} T_{ij}^{Cp(g)} = \sum_{ij \in I_{st,m}^{Cp(g)}} \int_0^{\infty} t f_{ij}^{Cp(g)}(t) dt \quad (\text{для}$$

$$\text{однородных гибридных ИТС АТМ } \sum_{ij \in I_{st,m}^{Cp(g)}} T_{ij}^{Cp(g)} = n \int_0^{\infty} t f_{ij}^{Cp(g)}(t) dt, \quad \forall ij \in I_{st,m}^{Cp(g)};$$

$$\sum_{\forall j: ij \in I_{st,m}^{Cp(g)}} T_j^{Cp(g)} = (1+n) T_J^{Cp(g)}, \quad \forall J : ij \in I_{st,m}^{Cp(g)} \text{ для всех } st \in S^{Cp(g)} : a_{st}^{Cp(g)} \neq 0).$$

Для однородной гибридной ИТС, реализованной на технологии АТМ с учетом введенных предположений, задачу анализа в терминах критерия эффективности K^{kg} также можно записать в виде последовательности двух задач оптимизации:

$$1) \text{ Найти } \arg \max_{V_{ij}^A} K^A \quad (4.16)$$

при условиях

$$b_{ij} \leq b^{multy} \text{ для всех } ij \in J^A : a_{ij}^A \neq 0 \text{ и } d^A \approx 0, \quad (4.17)$$

$$2) \text{ Найти } \arg \max_{\rho_{st}^{Cg}} K^{Cg} \quad (4.18)$$

при условиях

$$b_{ij} \leq b^{multy} \text{ и } T_{st}^{Cg} \leq T^{Cg} \forall st \in S^{Cg} : a_{st}^{Cg} \neq 0, \quad (4.19)$$

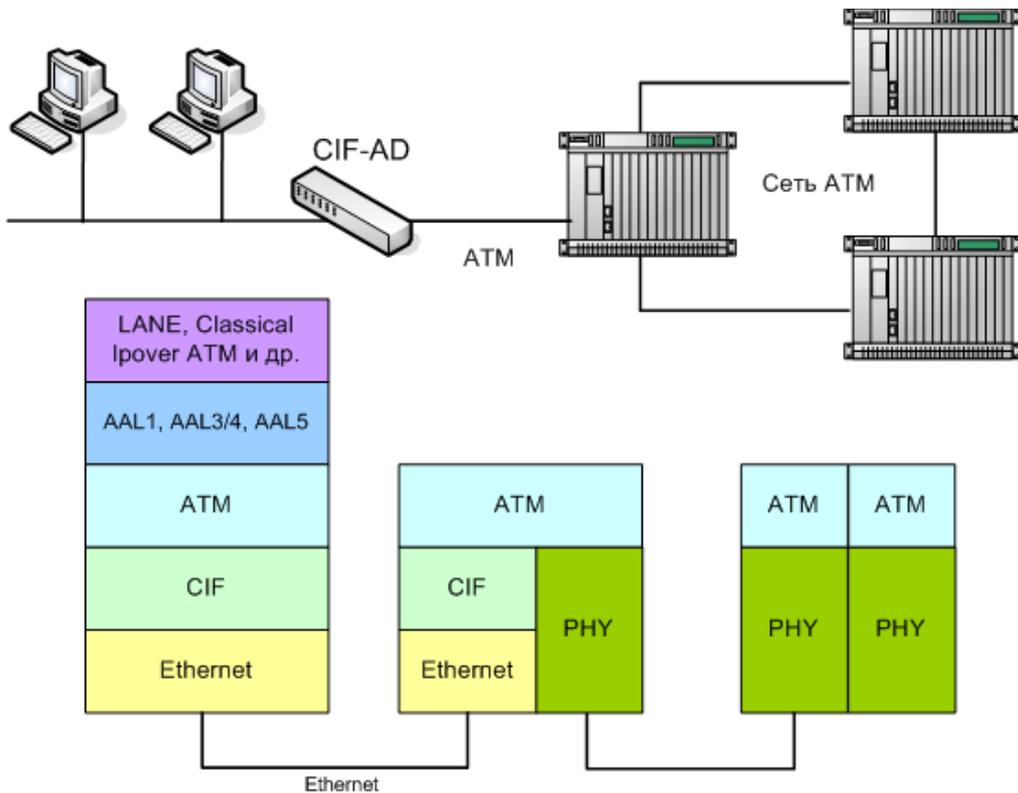
и все параметры первой задачи найдены и фиксированы. Здесь выражения

$$T_{st}^{Cg} \text{ аналогичны } T_{st}^{Cp(g)}.$$

4.2.2. Метод решения задачи анализа однородной пакетной инфотелекоммуникационной АТМ-CIF-системы

Передача трафика различной природы с заданным качеством обслуживания QoS в классической транспортной системе АТМ осуществляется сервисными примитивами фиксированной длины - 53 байтными ячейками, каждая из которых содержит 8 байт служебной информации. При этом протокольная избыточность на уровне АТМ приводит к снижению использования пропускной способности линейных цифровых трактов (ЛЦТ) сети до 10% [14]. Кроме того, указанный размер ячейки разработчиками был выбран в качестве компромиссного решения для передачи разнородного трафика и, следовательно, не является оптимальным для передачи каждого из них в отдельности. Известно [31], что для различных типов трафика имеет место сильная зависимость длин протокольных блоков уровней архитектуры ИТС от ее параметров.

Корпорацией IBM в рамках проекта по созданию коммутируемых виртуальных сетей АТМ (Switched Virtual Networking, SVN) разработаны сетевые широкополосные службы (Networking BroadBand Services, NBBS), которые позволяют вести передачу информации не только ячейками АТМ, но и фреймами различной длины в режиме пакетного переноса (Packet Transfer Mode, PTM) [32]. Технология «ячейка в фреймах» (Cell in Frames, CIF), позволяющая использовать один АТМ-заголовок на несколько ячеек, формируя как бы один фрейм переменной длины, предложена также группой фирм-разработчиков, в которую вошли Cisco Systems, FORE Systems, Nortel и др. [33]. Функция формирования ячейки переменной длины может быть реализована либо на логическом уровне АТМ базовой модели архитектуры протокола Ш-ЦСИС, либо на дополнительном подуровне сборки/разборки фреймов, расположенном ниже уровня АТМ (рис. 4.2).



CIF-AD – устройство доступа к ATM

Рис. 4.2. Структура сети ATM и протокольный стек технологии CIF

В связи с этим возникает возможность оптимизации критериев эффективности ИТС ATM по переменной оптимизации – длине фреймов ячеек классов B и C на подуровне CIF. При этом величины $L^{Bp(g)}$, $L^{Cp(g)}$ и L^A , L^C следует заменить соответственно на величины $l_{CIF}^{Bp(g)}$, $l_{CIF}^{Cp(g)}$ и l_{CIF}^A , l_{CIF}^C . С учетом сделанных предположений и допущений, решая задачи оптимальной параметризации (4.12), (4.14), (4.16) и (4.18) можно определить оптимальные длины $l_{optCIF}^{Bp(g)}$, $l_{optCIF}^{Cp(g)}$ и $(l_{optCIF}^A, l_{optCIF}^C)$, обеспечивающие при заданных условиях передачу потоков нагрузки классов B и C по m -му ($m = \overline{1, M_{st}^k}$) составному виртуальному каналу $\hat{l}_{st,m}^k$ тракта $st \in S^k$.

Метод решения задач (4.12) и (4.14) для пакетной ИТС-ATM заключается в следующем [14]. Оптимальную длину речевого фрейма $l_{optCIF}^{Bp(g)}$ можно найти, решив задачу на нахождение условного экстремума $dK_{ij}^{Bp(g)} / dl_{CIF}^{Bp(g)} = 0$ при условии (4.13). Оптимальная длина фрейма $l_{optCIF}^{Cp(g)}$ вычисляется решением задачи на определение условного экстремума $dK_{ij}^{Cp(g)} / dl_{CIF}^{Cp(g)} = 0$, при условии (4.15).

Для решения задач на условный экстремум будем пользоваться не классическим методом Лагранжа, а разрешим эти условия относительно

интересующих нас $\rho_{ij}^{Bp(g)}$, $\rho_{ij}^{Cp(g)}$ (в этом случае $\rho_{ij}^{Cp(g)} = 1 - \rho_{ij}^{Bp(g)} - \frac{I_{optCIF}^{Cp(g)} + H_{NA}}{V_{ij} T_{ij}^{Cp(g)}} + \frac{\rho_{ij}^{Bp(g)}}{1 - \rho_{ij}^{Bp(g)}} \frac{I_{optCIF}^{Bp(g)} + H_{NA}}{V_{ij} T_{ij}^{Cp(g)}}$) и подставим полученные выражения в исследуемые функционалы $K_{ij}^{Bp(g)}$ и $K_{ij}^{Cp(g)}$. После этого задача нахождения $I_{optCIF}^{Bp(g)}$ и $I_{optCIF}^{Cp(g)}$ сводится к задаче на определение безусловного экстремума. В результате после преобразований получим два уравнения относительно неизвестных $I_{optCIF}^{Bp(g)}$ и $I_{optCIF}^{Cp(g)}$. Решая первое уравнение, которое оказывается квадратичным относительно неизвестной $I_{optCIF}^{Bp(g)}$, находим

$$I_{optCIF}^{Bp(g)} = \frac{(\theta_{st}^{Bp(g)} v^B + H_{SAR}^{VBRrt}) \alpha_1 - H_{ATM} v^B}{\alpha_1 + v^B}, \quad (4.20)$$

где $\alpha_1 = \sqrt{\frac{(H_{SAR}^{VBRrt} + H_{ATM})V}{z\theta_{st}^{Bp(g)}}}$, $\beta^B = 1$.

Решить второе уравнение значительно сложнее, так как оно является трансцендентным уравнением, содержащим полиномы второй степени относительно неизвестной переменной. Для его решения удалось найти сжимающий нелинейный оператор, позволивший построить для получения решения простую итерационную процедуру Коллатца [34]:

$$I_{CIF}^{Cp(g)} = x + H_{SAR}^{ABR}, \quad (4.21)$$

$$\text{где } x = \lim_{k \rightarrow \infty} x_k, \quad x_{k+1} = \frac{y-1}{\ln(1-p)} \left\{ 1 + \frac{x_k + \frac{T_{st}^{Cp(g)} \omega^C (y-1)}{a_2 y \ln(1-p)}}{\left(T_{st}^{Cp(g)} \omega^C - x_k \right) \left[\frac{(\hat{\rho}_{ij}^{Bp(g)} - 1)}{n \omega^C a_2} (T_{st}^{Cp(g)} \omega^C - x_k) + 1 \right]} \right\},$$

$y = (1-p)^{x+H_{ATM}}$, $a_2 = \frac{\hat{\rho}_{ij}^{Bp(g)}}{1 - \hat{\rho}_{ij}^{Bp(g)}} (I_{optCIF}^{Bp(g)} + H_{ATM})$, $k = 0, 1, 2, \dots$ с начальным условием

$x_0 \geq H_{SAR}^{ABR}$. Если выражение, стоящее в квадратных скобках знаменателя в правой части уравнения $I_{CIF}^{Cp(g)} = x + H_{SAR}^{ABR}$, обращается в нуль, это означает, что трафик класса C с заданным через цифровой тракт не может быть передан. В этом случае следует положить $I_{CIF}^{Cp(g)} = H_{SAR}^{ABR}$. Это происходит

тогда, когда $a_2 = T_{st}^{Cp(g)} \omega^C - \frac{n \omega^C}{V} \frac{\hat{\rho}_{ij}^{Bp(g)}}{1 - \hat{\rho}_{ij}^{Bp(g)}} (I_{optCIF}^{Bp(g)} + H_{ATM})$.

В частном случае при $p = 0$ может быть найдено явное решение уравнения $dK_{ij}^{Cp(g)} / dI_{CIF}^{Cp(g)} = 0$:

$$l_{optCIF}^{Cp(g)} = \frac{-q \pm \sqrt{q^2 + a_3 c_3}}{a_3} + H_{SAR}^{ABR},$$

(4.22) где

$$a_3 = \left[n + \frac{1 - \hat{\rho}_{ij}^{Bp(g)}}{\omega^C} V \right] - \left[n + \frac{1 - \hat{\rho}_{ij}^{Bp(g)}}{\omega^C} V \right] (H_{SAR}^{ABR} + H_{ATM}) \frac{1}{\omega^C T_{st}^{Cp(g)}} -$$

$$- \left[T_{st}^{Cp(g)} V (1 - \hat{\rho}_{ij}^{Bp(g)}) - n (l_{optCIF}^{Bp(g)} + H_{ATM}) \frac{\hat{\rho}_{ij}^{Bp(g)}}{1 - \hat{\rho}_{ij}^{Bp(g)}} - n (H_{SAR}^{ABR} + H_{ATM}) \right] \frac{1}{\omega^C T_{st}^{Cp(g)}}$$

$$q = \left[n + \frac{1 - \hat{\rho}_{ij}^{Bp(g)}}{\omega^C} V \right] (H_{SAR}^{ABR} + H_{ATM}),$$

$$c_3 = \left[T_{st}^{Cp(g)} V (1 - \hat{\rho}_{ij}^{Bp(g)}) - n (l_{optCIF}^{Bp(g)} + H_{ATM}) \frac{\hat{\rho}_{ij}^{Bp(g)}}{1 - \hat{\rho}_{ij}^{Bp(g)}} - n (H_{SAR}^{ABR} + H_{ATM}) \right] H_{ATM}.$$

Следует иметь в виду, что при расчете оптимальной длины значение

$$\hat{\rho}^{Bp(g)} = \frac{l_{optCIF}^{Bp(g)} - H_{SAR}^{VBR}}{l_{optCIF}^{Bp(g)} + H_{ATM}} \frac{v^B}{V} \hat{a}_{st}^{Bp(g)} \eta^{Bp(g)},$$

фигурирующее в выражении (4.5) должно удовлетворять неравенству $0 < \hat{\rho}_{ij}^{Bp(g)} \leq \rho_{ij}^{Bp(g)\max}$, где $\rho_{ij}^{Bp(g)\max}$ - есть максимальное возможное значение коэффициента использования тракта передачи речевым трафиком класса B , рассчитанное по формуле (3.16), при $l_{optCIF}^{Bp(g)}$, полученном из выражения (4.20).

4.2.3. Алгоритм анализа однородной пакетной инфотелекоммуникационной АТМ-СІФ-системы

Исходные данные: d^B , $\theta_{st}^{Bp(g)}$, v^B , $H_{SAR}^{VBRrt} = 24$ бит, $H_{ATM} = 40$ бит, η^B , n , $H_{SAR}^{ABR} = 32$ бит, ω^C , $T_{st}^{Cp(g)}$, ρ , $\hat{a}_{st}^{Cp(g)}$ (заданная величина трафика данных), $\hat{a}_{st}^{Bp(g)}$ (заданная величина речевого трафика). Алгоритм параметрического синтеза однородных транспортных каналов пакетной ИТС-АТМ следующий.

1. По заданным n , d^B найти z . Перейти к 2.
2. По полученным z по формуле (4.20) найти $l_{optCIF}^{Bp(g)}$. Перейти к 3.
3. По заданным V , v^B , θ^B , H_{SAR}^{VBRrt} , H_{ATM} , H_{SAR}^{ABR} , b^{malty} и полученным z и $l_{optCIF}^{Bp(g)}$ по формуле (3.43) найти $\hat{\rho}_{ij}^{Bp(g)\max}$ ($\beta_{st}^B = 1$). Если $0 < \hat{\rho}_{ij}^{Bp(g)} \leq 1$, то перейти к 4, иначе положить $\hat{a}_{st}^{Bp(g)} = 0$, где $\hat{a}_{st}^{Bp(g)}$ - величина максимально возможного речевого трафика класса B , который может пропустить составной тракт пакетной ИТС-АТМ-СІФ, $l_{optCIF}^{Bp(g)} = H_{SAR}^{VBRrt}$ и перейти к 5.
4. По вычисленным $l_{optCIF}^{Bp(g)}$ и $\hat{\rho}_{ij}^{Bp(g)\max}$ найти $\hat{a}_{st}^{Bp(g)}$ (обращение формулы 3.9). Перейти к 5.
5. По заданным $0 \leq \hat{a}_{st}^{Bp(g)} \leq \hat{a}_{st}^{Bp(g)\max}$ и вычисленном $l_{optCIF}^{Bp(g)}$ по формуле (4.21) найти $l_{optCIF}^{Cp(g)}$. Перейти к 6.

6. По формуле (3.68) найти $V_{st}^{Cp(g)\min}$. Перейти к 7.
7. По формуле (3.69) вычислить $R^{p(g)}$. Перейти к 8.
8. Печатать $R^{p(g)}$. «Конец».

4.2.4. Метод решения задачи анализа однородной гибридной инфотелекоммуникационной АТМ-СІФ-системы

Рассмотрим метод оптимизации критериев эффективности гибридной ИТС в фреймах переменной длины. Как было показано в разделе 3.2.3, общие коэффициенты $K_{ij}^A = K_{st}^A$ (3.36) использования пропускной способности гибридной ИТС-АТМ-СІФ речевым трафиком класса А равны:

$$K_{ij}^A = \frac{v^A \int_0^{\infty} t dF^A(t)}{H_{SAR}^{CBR}(x+1) \sum_{k=1}^{\infty} k \left[F^A\left(\frac{H_{SAR}^{CBR}}{v^A} xk\right) - F^A\left(\frac{H_{SAR}^{CBR}}{v^A} x(k-1)\right) \right]} l_{CIF}^A + H_{ATM}^A. \quad (4.23)$$

Величина l_{optCIF}^A , доставляющая максимум для этого функционала, удовлетворяет уравнению $\frac{dK_{ij}^A(l_{CIF}^A)}{dl_{CIF}^A} = 0$. Величина

$$x = \frac{l_{CIF}^A}{H_{SAR}^{CBR}} - 1, \quad (4.24)$$

доставляющая максимум для этого функционала, удовлетворяет уравнению $\frac{dK_{ij}^A(x)}{dx} = 0$;

$$\begin{aligned} \frac{dK_{ij}^A}{dx} &= \frac{\left\{ H_{SAR}^{CBR}(x+1) \sum_{k=1}^{\infty} k \left[F^A\left(\frac{H_{SAR}^{CBR}}{v^A} xk\right) - F^A\left(\frac{H_{SAR}^{CBR}}{v^A} x(k-1)\right) \right] \right\}'}{\left\{ H_{SAR}^{CBR}(x+1) \sum_{k=1}^{\infty} k \left[F^A\left(\frac{H_{SAR}^{CBR}}{v^A} xk\right) - F^A\left(\frac{H_{SAR}^{CBR}}{v^A} x(k-1)\right) \right] \right\}^2} ; \\ &\sum_{k=1}^{\infty} k \left[F^A\left(\frac{H_{SAR}^{CBR}}{v^A} xk\right) - F^A\left(\frac{H_{SAR}^{CBR}}{v^A} x(k-1)\right) + (x+1) \right] \times \\ &\times \left\{ \sum_{k=1}^{\infty} k \left[\frac{H_{SAR}^{CBR}}{v^A} k f^A\left(\frac{H_{SAR}^{CBR}}{v^A} xk\right) - \frac{H_{SAR}^{CBR}}{v^A} (k-1) f^A\left(\frac{H_{SAR}^{CBR}}{v^A} x(k-1)\right) \right] \right\} = 0, \\ &\sum_{k=1}^{\infty} k F^A\left(\frac{H_{SAR}^{CBR}}{v^A} xk\right) - \sum_{k=1}^{\infty} k F^A\left(\frac{H_{SAR}^{CBR}}{v^A} x(k-1)\right) = \\ &= -(x+1) \sum_{k=1}^{\infty} k^2 \frac{H_{SAR}^{CBR}}{v^A} f^A\left(\frac{H_{SAR}^{CBR}}{v^A} xk\right) + (x+1) \sum_{k=1}^{\infty} k(k-1) \frac{H_{SAR}^{CBR}}{v^A} f^A\left(\frac{H_{SAR}^{CBR}}{v^A} x(k-1)\right). \end{aligned}$$

Окончательно

$$\sum_{k=1}^{\infty} \left[kF^A \left(\frac{H_{SAR}^{CBR}}{v^A} xk \right) + (x+1)k^2 \frac{H_{SAR}^{CBR}}{v^A} f^A \left(\frac{H_{SAR}^{CBR}}{v^A} xk \right) \right] =$$

$$= \sum_{k=1}^{\infty} \left[kf^A \left(\frac{H_{SAR}^{CBR}}{v^A} x(k-1) \right) + (x+1)k(k-1) \frac{H_{SAR}^{CBR}}{v^A} f^A \left(\frac{H_{SAR}^{CBR}}{v^A} x(k-1) \right) \right].$$

Решение полученного уравнения относительно x может быть проведено численными методами. В частности, если распределение активных речевых фрагментов экспоненциальное с параметром $\frac{1}{\tau^A}$, т. е.

$F^A(t) = 1 - e^{-\frac{t}{\tau^A}}$, это уравнение сводится к трансцендентному уравнению $e^{\alpha x} = 1 + \alpha + \alpha x$, где $\alpha = \frac{H_{SAR}^{CBR}}{s^A} = \frac{H_{SAR}^{CBR}}{v^A \tau^A}$, решение которого легко получить графоаналитическим способом или построив итерационную процедуру $x = \lim_{k \rightarrow \infty} x_k$, $x_{k+1} = \frac{1}{\alpha} \ln(\alpha x_k + a + 1)$ с начальным условием $x_0 = \sqrt{\frac{2}{\alpha}}$, где $x = \frac{l_{CIF}^A}{H_{SAR}^{CBR}} - 1$, $a = \frac{H_{SAR}^{CBR}}{s^A}$.

Для нахождения оптимального значения $l_{optCIF}^{C_g}$, доставляющего максимум функционалу $K_{ij}^{C_g}$ (3.36), решим уравнение $\frac{dK_{ij}^{C_g}(l_{CIF}^{C_g})}{dl_{CIF}^{C_g}} = 0$ относительно $l_{CIF}^{C_g}$ и строим итерационную процедуру Коллатца:

$$l_{optCIF}^{C_g} = x + H_{SAR}^{ABR}, \quad (4.25)$$

где $x = \lim_{k \rightarrow \infty} x_k$, $x_{k+1} = \frac{y-1}{\ln(1-p)} - \left[\frac{y-1}{(T_{st}^{C_g} \omega^C - x_k) \ln(1-p)} \right]^2 \frac{nT_{st}^{C_g} (\omega^C)^2}{V^{\exists} y}$, $y = (1-p)^{x_k + H_{ATM}}$, $k=0,1,2,\dots$ с начальным условием $x_0 = 1$.

При $p = 0$ и $\beta^{C_g} = 1$ решение этого уравнения имеет явный вид

$$l_{optCIF}^{C_g} = \frac{g^{C_g} \pm \sqrt{(g^{C_g})^2 + a^{C_g} r^{C_g}}}{a^{C_g}}, \quad (4.26)$$

где $a^{C_g} = (H_{SAR}^{ABR} + H_{ATM}) \frac{V^{\exists}}{\omega^C} \frac{1}{T_{st}^{C_g} \omega^C} - n$; $g^{C_g} = (n + \frac{V^{\exists}}{\omega^C})(H_{SAR}^{ABR} + H_{ATM})$;

$$r^{C_g} = (H_{SAR}^{ABR} + H_{ATM})(T_{st}^{C_g} V^{\exists} - n(H_{SAR}^{ABR} + H_{ATM})).$$

Решив задачи (4.12) (4.14), (4.16) и (4.18), получим для каждого значения входа оптимальное значение длины соответствующего протокольного блока $l_{optCIF}^{kp}(l_{optCIF}^{k_s})$, а также максимально допустимые загрузки трактов пакетами указанных классов \hat{a}_{ij}^A , $\rho_{ij}^{C_g}$, $\rho_{ij}^{Bp(g)}$, $\rho_{ij}^{Cp(g)}$ при заданных условиях передачи и распределения потоков в сети.

Таким образом, минимально возможная эффективная скорость $V_{st}^{A \min}$ передачи трафика класса A в однородном тракте гибридной ИТС – определяется выражением (3.70), а минимально возможная эффективная скорость $V_{st}^{C_g \min}$ передачи трафика класса C в однородном тракте гибридной ИТС – выражением (3.71) при значениях оптимальных длин протокольных блоков l_{optCIF}^A и l_{optCIF}^C , рассчитанных по формулам (4.24) и (4.25).

Предположим, что задачи (4.19) и (4.21) для однородной пакетной ИТС на технологии ATM решены и допустимые значения разнородного трафика в сети $\rho_{ij}^{Bp(g) \max}$, $\rho_{ij}^{Cp(g) \max}$ найдены. Для того чтобы для нагрузки класса B , заданных матрицей Y^B и распределением потоков, выполнялись требования по передаче, необходимо выполнение системы неравенств: $\hat{\rho}_{ij}^{Bp(g)} \leq \rho_{ij}^{Bp(g) \max}$, $\forall ij \in J$, где величины $\rho_{ij}^{Bp(g) \max}$ рассчитываются по формуле (3.16) при решении задачи анализа.

Таким образом, основное условие пропускания нагрузки класса B на примере сжатого цифрового речевого сигнала в сети ATM-CIF определяется выражением $\eta^B z^{B_g} \frac{l_{optCIF}^{Bp(g)} + H_{ATM}}{l_{optCIF}^{Bp(g)} - H_{SAR}^B} \frac{v^B \hat{a}_{ij}^{Bp(g)}}{V_{ij}} \leq \rho_{ij}^{Bp(g) \max}$. Если на каком-либо звене $ij \in J_{st}$ условие не выполняется, то для всех $a_{ij}^{Bp(g)} \neq 0$: $ij \in R_{st}^{Bp(g)}$ требуемая речевая нагрузка в составе мультимедийных соединений не может быть пропущена через сеть с заданными «потерями» d^B .

Ясно, что для трафика класса C должно выполняться неравенство (при $p = 0$)

$$\Theta^{\min} a_{st}^{Cp(g)} \leq V \frac{l_{optCIF}^{Cp(g)} - H_{SAR}^{ABR}}{l_{optCIF}^{Cp(g)} + H_{ATM}} \left(1 - \rho_{st}^{Bp(g)} - \left[\frac{l_{optCIF}^{Cp(g)} + H_{ATM}}{T_{st,m}^{Cp(g)} - T_{pac}^{Cp(g)}} \right] \frac{n}{(1 - \rho_{st}^{Bp(g)})V} \right), \quad (4.27)$$

где $a_{st}^{Cp(g)}$ – общая нагрузка ячеек данных класса C , поступающая в тракт $st \in S^{Cp(g)}$ в рамках организации мультимедийных соединений. В общем случае, если обозначить через $\hat{a}_{ij}^{Cp(g)}$ нагрузку ячеек данных класса C на

звене, равную $\hat{a}_{ij}^{Cp(g)} = \sum_{st \in S^{Cp(g)}} \sum_{m=1}^{M_{st}^{Cp(g)}} p_{st,m}^{Cp(g)} \hat{a}_{st,m}^{Cp(g)}$ для всех $st \in S^{Cp(g)} : ij \in I_{st,m}^{Cp(g)}$, то для трафика данных класса C должно выполняться условие

$$\Theta^{\min} \hat{a}_{ij}^{Cp(g)} \leq V_{ij}^{\min Cp(g)}, \quad \forall ij \in J_{st}. \quad (4.28)$$

Основное условие пропускания речевой нагрузки в **гибридной** ИТС-АТМ при решении задач (4.16) и (4.18) с учетом $b_{ij}^A \leq b^A$ принимает следующий вид

$$V_{ij}^A \leq v^A \widehat{a}_{ij}^A. \quad (4.29)$$

Если это не выполняется на каком-либо звене сети, то $\forall ij \in R_{st}^A$: $a_{st}^A \neq 0$, указанный речевой трафик класса A обслужен быть не может с заданными нормами b^{malty} .

Если обозначить $\widehat{a}_{ij}^{C_g}$ величину текущего трафика пакетов данных класса C в канале $ij \in R_{st}^{C_g}$, равную $a_{ij}^{C_g} := \sum_{st \in S^{C_g}} a_{st}^{C_g}$, $\forall st \in S^{C_g} : ij \in I_{st,m}^{C_g}$, то условием его обслуживания с учетом $b_{ij}^{C_g} \leq b^{malty}$, потоков других направлений и заданных ограничений на качество передачи будет (при $p = 0$)

$$\Theta^{\min} a_{ij}^{C_g} : \leq V^\varnothing \frac{l_{optCIF}^{C_g} - H_{SAR}^{ABR}}{l_{optCIF}^{C_g} + H_{ATM}} \left(1 - n \frac{l_{optCIF}^{C_g} + H_{ATM}}{(T_{st}^{C_g} - \frac{l_{optCIF}^{C_g} - H_{SAR}^{ABR}}{\omega^C}) V^\varnothing} \right) \forall ij \in J^{C_g}. \quad (4.30)$$

Если это условие не выполняется на каком-либо канале $ij \in R_{st}^{C_g}$, то $\forall a_{st}^{C_g} : a_{st}^{C_g} \neq 0$, заданная нагрузка данных не может быть передана с требуемым средним временем $T_{ij}^{C_g}$ через гибридную ИТС на технологии АТМ-SIF.

Предлагаемый выше метод расчета основных числовых характеристик транспортного соединения гибридной ИТС базируется на подсчете среднего числа линий, занятых речевой нагрузкой класса A .

4.2.5. Алгоритм анализа однородной гибридной инфотелекоммуникационной АТМ-SIF-системы

Опишем алгоритм получения основных числовых характеристик транспортных каналов однородной гибридной ИТС, реализованной на технологии АТМ-SIF, для конкретных условий передачи, при заданной величине речевого трафика и фиксированной скорости в ЛЦТ. Методика построена на базе теоретических исследований, проведенных в разделе 3.2. В основе указанной методики лежит следующий алгоритм.

Исходные данные: V , p , \widehat{a}_{st}^A , b^{malty} , v^A , τ^A , H_{SAR}^{CBR} , H_{ATM} , $\widehat{a}_{st}^{C_g}$, H_{SAR}^C , ω^C , S^{C_g} , $T_{st}^{C_g}$

1. По заданным v^A , τ^A и формуле (4.24) найти l_{optCIF}^A . Перейти к 2.

2. По заданным v^A , τ^A , и вычисленному l_{optCIF}^A найти $\Theta^{\max A} =$

$$v^A \tau^A \left(1 - e^{-\frac{l_{optCIF}^A - H_{SAR}^{CBR}}{\tau^A v^A}} \right) \frac{V}{v^A (l_{optCIF}^A + H_{ATM})}. \text{ Перейти к 3.}$$

3. При заданном b^A и вычисленном $\Theta^{A\max}$ по таблице с табулированной 1-ой формулой Эрланга $b^A = \frac{(a_{st}^A)^{\Theta^A}}{\Theta^A!} \left[\sum_{i=0}^{\Theta^A} \frac{a_{st}^A}{i!} \right]^{-1}$ найти $a_{st}^{A\max} = a(\Theta^{A\max}, b^A)$ обращение этой формулы относительно неизвестной a_{st}^A можно производить по алгоритму:

$$\begin{aligned} (a = \lim_{k \rightarrow \infty} a_k, \quad a_{k+1} &= \frac{a_{k-1} - a_k}{f_k - f_{k-1}} f_k, \quad k=0, 1, 2, \dots \\ f_0 &\equiv f(a), \quad f_1 \equiv f(a_1), \dots, \quad f_k \equiv f(a_k), \\ f &\equiv f(a) = \sum_{i=0}^{\Theta-1} \frac{a^i}{i!} + (1 - \frac{1}{b^A}) (a)^{\Theta} / \Theta! \end{aligned}$$

Перейти к 4.

4. По заданным $0 \leq \hat{a}_{st}^A \leq a_{st}^{A\max}$, V , v^A , n , b^A и вычисленному значению l_{optCIF}^A , по формуле (3.58) найти V_{st}^{Θ} . Перейти к 5.

5. По заданным n, ω^C, T_{st}^{Cg} и вычисленным значениям V_{st}^{Θ} по формуле (4.25) найти l_{optCIF}^{Cg} . Перейти к 6.

6. По заданным n, ω^C, T_{st}^{Cg} и вычисленным значениям V_{st}^{Θ} и l_{optCIF}^{Cg} по формуле (3.71) найти $V_{st}^{Cg\min}$. Перейти к 7.

7. По заданным, $0 \leq \hat{a}_{st}^A \leq \hat{a}_{st}^{A\max}$ найти $V_{st}^{A\min}$ (3.70) и по формуле (3.72) R_{st}^g . Перейти к 8.

8. Печатать R_{st}^g .

9. «Конец»

4.2.6. Методика и алгоритм сравнительного анализа однородных инфотелекоммуникационных АТМ-СІФ-систем

Естественно считать ту систему лучшей, у которой при заданной величине речевой нагрузки $\hat{a}_{st}^{Bp(g)} = \hat{a}_{st}^A = \hat{a}_{st}$ значение $V_{st}^{Cg\max}$ или $V_{st}^{Cp(g)\max}$ больше в рамках организации мультимедийных соединений. Однако в силу условия $\rho_{ij}^{Bp(g)} \leq \rho_{ij}^{Bp(g)\max}$ и $\Theta_{st}^A \leq \Theta_{st}^{A\max}$ при фиксированной величине скорости V в ЛЦТ может случиться, что $\hat{a}_{st}^{Bp(g)} \triangleleft a_{st}^A$, хотя $V_{st}^{Cp(g)\max} \triangleright V_{st}^{Cg\max}$ и наоборот $\hat{a}_{st}^{Bp(g)} \triangleright a_{st}^A$, хотя $V_{st}^{Cp(g)\max} \triangleleft V_{st}^{Cg\max}$. В этом случае показателем качества работы сравниваемых систем может служить коэффициент использования цифрового тракта передачи на транспортном уровне, который для пакетной и гибридной ИТС может быть подсчитан соответственно по формулам $R_{st}^{P(g)}$ (3.69) и R_{st}^g (3.72). Та система лучше, у которой этот коэффициент больше.

Ниже приводится описание алгоритма получения основных числовых характеристик ИТС на технологии АТМ-СІФ, позволяющей сравнить различные системы для одинаковых условий проектирования по

коэффициентам $R_{st}^{p(g)}$ и R_{st}^g . Алгоритм построен на базе теоретических исследований, проведенных в разделах 3 и 4.

Исходные данные: $b^{A(B),C}$, $v^{A(B)}$, ω^C , V , n , p , $H_{ATM}=40$ бит, $H_{SAR}^{ABR}=32$ бит, $s^{Cp(g)}$, $\widehat{a}_{st}^{Bp(g)}$, $\widehat{a}_{st}^{Cp(g)}$, d^B , $\theta_{st}^{Bp(g)}$, τ^B , $H_{SAR}^{VBRrt}=24$ бит, $\eta^{Bp(g)}$, $T_{st}^{Cp(g)}$, \widehat{a}_{st}^A , \widehat{a}_{st}^{Cg} , τ^A , $H_{SAR}^{CBR}=8$ бит, T_{st}^{Cg} .

1. По заданным n , d^B и формуле (3.42) найти z . Перейти к 2.

2. По полученным z по формуле (4.20) найти $l_{optCIF}^{Bp(g)}$. Перейти к 3.

3. По заданным V , v^B , θ^B , H_{SAR}^{VBRrt} , H_{ATM} , H_{SAR}^{ABR} , b^{malty} и полученным z и $l_{optCIF}^{Bp(g)}$ по формуле (3.16) найти $\rho_{ij}^{Bp(g)\max}$ ($\beta_{st}^B=1$). Если $0 < \rho_{ij}^{Bp(g)\max} \leq 1$, то перейти к 4, иначе положить $\widehat{a}_{st}^{Bp(g)\max} = 0$, где $\widehat{a}_{st}^{Bp(g)\max}$ – величина максимально возможного речевого трафика класса B , который может пропустить тракт пакетной ИТС, $l_{optCIF}^{Bp(g)} = H_{SAR}^{VBRrt}$ и перейти к 5.

4. По вычисленным $l_{optCIF}^{Bp(g)}$ и $\rho_{ij}^{Bp(g)\max}$ найти $\widehat{a}_{st}^{Bp(g)\max}$ (обращение формулы 3.20) Перейти к 5.

5. По формуле (4.24) найти l_{optCIF}^A . Перейти к 6.

6. По вычисленному l_{optCIF}^A найти $\Theta_{st}^{A\max}$. Перейти к 7.

7. При вычисленном $\Theta_{st}^{A\max}$ и заданном b^A по таблице с табулированной 1-й формулой Эрланга

$$b^A = \frac{(a_{st}^A)^{\Theta_{st}^{A\max}}}{\Theta_{st}^{A\max}!} \left[\sum_{i=0}^{\Theta_{st}^{A\max}} \frac{a_{st}^A}{i!} \right]^{-1}$$

найти $a_{st}^{A\max} = a(\Theta_{st}^{A\max}, b^A)$. (Обращение этой формулы относительно неизвестной a можно производить на ПЭВМ по следующему алгоритму:

$$(a = \lim_{k \rightarrow \infty} a_k, \quad a_{k+1} = \frac{a_{k-1} - a_k}{f_k - f_{k-1}} f_k, \quad k=0, 1, 2, \dots)$$

$$f_0 \equiv f(a), \quad f_1 \equiv f(a_1), \dots, f_k \equiv f(a_k),$$

$$f \equiv f(a) = \sum_{i=0}^{\Theta_{st}^{A\max}-1} \frac{a^i}{i!} + (1 - \frac{1}{b^A}) a^c / c!. \text{ Перейти к 8.}$$

8. По заданным $0 \leq \widehat{a}_{st}^{Bp(g)} \leq a_{st}^{Bp(g)\max}$ и вычисленном $l_{optCIF}^{Bp(g)}$ по формуле (4.25) найти l_{optCIF}^{Cg} (при $\widehat{a}_{st}^{Bp(g)} = 0$ положить в (3.20) $\rho_{ij}^{Bp(g)} = 0$). Если $l_{optCIF}^{Cg} = H_{SAR}^{ABR}$, то положить $V_{st}^{Cp(g)\min} = 0$ (3.68), где $V_{st}^{Cp(g)\min}$ – номинальная эффективная скорость передачи трафика данных при заданных V и T^C , иначе перейти к 9.

9. По заданным $\widehat{a}_{st}^{Bp(g)}$ и вычисленным $V_{st}^{Cp(g)\min}$ и l_{optCIF}^{Cg} по формуле (3.68) найти $V_{st}^{Cp(g)\min}$. Перейти к 10.

10. По заданным $0 \leq \widehat{a}_{st}^A \leq a_{st}^{A\max}$ и вычисленному значению l_{optCIF}^A , по формуле (3.58) найти V_{st}^{ϑ} . Перейти к 11.

11. По вычисленным значениям $V_{st}^{\mathcal{E}}$ по формуле (4.25) найти $l_{optCIF}^{C_g}$.
Перейти к 12.

12. По вычисленным значениям $V_{st}^{\mathcal{E}}$ и $l_{optCIF}^{C_g}$ по формуле (3.68) найти $V_{st}^{C_g}$. Перейти к 13.

13. По заданным $0 \leq \widehat{a}_{st}^{C_g} \leq a_{st}^{C_g \max}$, $0 \leq \widehat{a}_{st}^A \leq a_{st}^{A \max}$ найти $V_{st}^{Bp(g)} = \eta^{Bp(g)} z^{Bp(g)} v^B \widehat{a}_{st}^{Bp(g)}$, $V_{st}^A = v^A \widehat{a}_{st}^A$, $R_{st}^{p(g)}$ (3.69) и R_{st}^g (3.72). Перейти к 14.

14. По $R_{st}^{p(g)}$ и R_{st}^g вычислить $\Delta = \left(\frac{R_{st}^{p(g)}}{R_{st}^g} - 1 \right) 100\%$.

15. «Конец».

Величина $\Delta = \left(\frac{R_{st}^{p(g)}}{R_{st}^g} - 1 \right) 100\%$ в зависимости от знака (если знак "+", то пакетная ИТС ATM- SIF лучше использует тракт передачи, чем гибридная ИТС ATM- SIF, если знак "-", то гибридная ИТС ATM-SIF лучше использует тракт передачи, чем пакетная ИТС ATM- SIF) характеризует выигрыш в % одной системы относительно другой при заданных условиях проектирования.

Вопросы для самопроверки

1. Какие три частные задачи включает в свой состав задача оптимизации структуры МСС
2. Сформулируйте цель решения задачи анализа МСС
3. Сформулируйте задачу оптимальной маршрутизации как основу задачи распределения многопродуктовых приоритетных потоков
4. Перечислите алгоритмы распределения многопродуктовых приоритетных потоков
5. Укажите два прикладных аспекта задачи распределения многопродуктовых приоритетных потоков
6. Сформулируйте задачу выбора пропускной способности МСС
7. Сформулируйте постановку задачи анализа процессов функционирования инфотелекоммуникационной IP-QoS-системы в терминах критериев эффективности
8. Сформулируйте в общей постановке задачу нелинейного программирования
9. К какому классу задач нелинейного программирования относятся задачи анализа МСС
10. Какая основная идея нелинейного программирования с ограничениями
11. Укажите метод решения задачи анализа неоднородной инфотелекоммуникационной IP- QoS-системы
12. В чем суть решения задачи анализа ИТС методом скользящего допуска или «нежесткого допуска»
13. Сформулируйте основные условия пропускания речевой нагрузки и нагрузки данных в IP- QoS-системе

14. Сформулируйте постановку задачи анализа однородных ИТС-АТМ в терминах целевой функции
15. Что является результатом решения задачи анализа однородных пакетных ИТС-АТМ-СИФ?
16. Чем обусловлено появление технологии «ячейка в фреймах» (Cell in Frames, CIF). В чем заключается суть технологии АТМ-СИФ.
17. Сформулируйте основные предположения и допущения при нахождения оптимальных длин речевых фреймов и фреймов данных для однородных пакетных ИТС-АТМ-СИФ.
18. Укажите метод решения задач анализа однородных пакетных инфотелекоммуникационных АТМ-СИФ-систем
19. Укажите метод решения задач анализа однородных гибридных инфотелекоммуникационных АТМ-СИФ-систем
20. Сформулируйте основное условие пропуска речевой нагрузки и нагрузки данных в пакетной ИТС-АТМ
21. Сформулируйте основное условие пропуска речевой нагрузки и нагрузки данных в гибридной ИТС-АТМ

Тема 5. Инженерные методики и алгоритмы оценки эффективности ИТС



При работе с данным разделом Вам предстоит:

- 1) Изучить: Инженерная методика и алгоритм синтеза неоднородной ИТС-IP-QoS. Инженерные методики и алгоритмы синтеза однородных пакетных и гибридных ИТС-ATM-CIF.
- 2) Ответить на вопросы теста № 5.

Одной из главных задач при проектировании ИТС является разработка инженерных методик расчета основных числовых характеристик ее транспортных соединений. Это необходимо для правильного выбора типа ИТС для конкретных условий проектирования. Такие методики должны учитывать достаточно широкий набор параметров, от которых существенно зависит эффективность функционирования той или иной ИТС. С другой стороны, факторы, мало влияющие на эффективность функционирования ИТС, должны опускаться или при инженерной оценке учитываться во вторую очередь. Важным моментом при построении методик расчета является то, что смена или уточнение какой-либо модели функционирования отдельного объекта ИТС не должны нарушать «архитектуру» самой методики, а приводить лишь к уточнению соответствующих «элементов» методики, без ее полного перестроения, т. е. сама методика должна носить «уровневый» характер с относительно независимыми «уровнями». Методика расчета характеристик ИТС должна включать в себя расчет форматов протокольных блоков соответствующих уравнений архитектуры ИТС, от правильного выбора которых зависит эффективность использования пропускной способности каналов связи сети. При этом расчет оптимальных длин протокольных блоков соответствующих уровней архитектуры ИТС должен базироваться на построении и оптимизации критериев эффективности использования пропускной способности системы соответствующим классом трафика в мультимедийном соединении. Минимизация длин пакетов тесно связана с

оптимизацией использования сетевых ресурсов: пропускной способности ЛЦТ, вычислительной мощности и объемов буферной памяти маршрутизаторов [14].

В разделе 5 реализованы модели, методы и алгоритмы, разработанные в предыдущих разделах, в виде инженерных методик и инструментальных средств для синтеза ИТС минимальной производительности при заданных условиях проектирования.

5.1. Инженерная методика и алгоритм синтеза неоднородной инфотелекоммуникационной IP-QoS-системы

Результаты решения задач оптимального параметрического анализа ИТС, сформулированных в разделе 4, лежат в основе задач выбора их пропускной способности или синтеза инфокоммуникационной сети, который предусматривает выбор оптимальной альтернативы из заданного множества при фиксированном для каждой альтернативы векторе параметров (оптимальная в смысле заданного критерия варианта построения системы, реализующего конкретный набор функций в заданном базисе элементов и обеспечивающего требуемые характеристики системы) [14]. Задача выбора пропускной способности неоднородной ИТС, реализованной на технологии IP-QoS, формулируется следующим образом. По заданным величинам многокомпонентных потоков с учетом ограничений на качество обслуживания и известной системе маршрутов их транспортировки необходимо определить минимальную пропускную способность V_{ij}^{\min} межузловых трактов сети. Указанная задача может быть формализована в виде двух задач оптимизации

1. Найти альтернативу $V_{ij}^{Bp \min} \in V_{ij}$ такую, что

$$\arg \min_{V_{ij} \cdot \rho_{ij}^B} K^{*Bp} = \sqrt[r^{Bp}]{\sum_{st \in S^{Cp}} \frac{\hat{a}_{st}^{Bp}}{Y^{multy}} \left[\frac{L^{Bp} - H_{IP}}{L^{*Bp} + H_{NA}} \sum_{m=1}^{M_{st}^{Bp}} p_{st,m}^{Bp} \prod_{ij \in I_{st,m}^{Bp}} \left(\frac{L^{Bp} + H_{NI}}{L^{*Bp} - H_{IP}} \frac{v^B}{V_{ij}} \hat{a}_{ij}^{Bp} z^{Bp} \eta^{Bp} \right)^p \right]}}, r^{Bp} = |l_{st,m}^{Bp}|, \quad (5.1)$$

при условиях $b_{ij} \leq b^{multy}$, $\sum_{m=1}^{M_{st}^{Bp}} p_{st,m}^{Bp} (1 - F_{st,m}^{Bp}(\theta_{st}^{Bp})) \leq d^{Bp}$, $L^{Bp} < \theta_{st}^{Bp} v^B - H_{IP}$,

$0 \leq \rho_{ij}^{Bp} < 1, \forall st \in S^B : a_{st}^{Bp} \neq 0$.

(5.2)

2. Найти альтернативу $V_{ij}^{Cp \min} \in V_{ij}$ такую, что

$$\arg \min_{V_{ij}^{Cp}} K^{Cp} = \sqrt[r^{Cp}]{\sum_{st \in S^{Cp}} \frac{\hat{a}_{st}^{Cp}}{Y^{multy}} \left[\beta_{st}^{Cp} \frac{L^{Cp} - H_{IP}}{L^{*Cp} + H_{NA}} \sum_{m=1}^{M_{st}^{Cp}} p_{st,m}^{Cp} \prod_{ij \in I_{st,m}^{Cp}} \left(1 - \rho_{ij}^{Bp} - \frac{L^{Cp} + H_{NI}}{T_{ij}^{*Cp} V_{ij}} \frac{\rho_{ij}^{Bp}}{1 - \rho_{ij}^{*Bp}} \frac{L^{Bp} + H_{NI}}{T_{ij}^{*Cp} V_{ij}} \right) \right]}}, r^{Cp} = |l_{st,m}^{Cp}| \quad (5.3)$$

при ограничениях

$$b_{ij} \leq b^{multy}, T_{st}^{Cp} = \sum_{m=1}^{M_{st}^C} p_{st,m}^{Cp} \left(\sum_{ij \in I_{st,m}^{Cp}} T_{ij}^{Cp} + \sum_{\forall j: ij \in I_{st,m}^{Cp}} T_j^{Cp} \right) - \frac{L^{Cp} - H_{IP}}{\omega^{Cp}} \leq T^{Cp} \text{ или}$$

$$\sum_{m=1}^{M_{st}^C} p_{st,m}^{Cp} (1 - F_{st,m}^{Cp}(T^{*Cp})) \leq d^{Cp}, \forall st \in S^{Cp} : \hat{a}_{st}^{Cp} \neq 0 \quad (5.4)$$

и все параметры первой задачи найдены и фиксированы.

В нашем случае проектировщиков, в конечном счете, интересует минимальный ресурс пропускной способности ЛЦТ (минимальная скорость трактов передачи из дискретного множества первичных каналов связи) ИТС, обеспечивающей многополюсный перенос многокомпонентных входных потоков заданных объемов с требуемыми QoS-нормами на качество обслуживания. По сути эта задача тяготеет к задаче выбора пропускных способностей (ВПС) классических пакетных сетей, но в двойственной постановке [14, 35]. Отыскивая минимальные скорости трактов, мы фактически минимизируется их суммарная стоимость при ограничениях на качество передачи. Однако здесь задача усложняется наличием, по крайней мере, двух типов трафика, конкурирующих за сетевые ресурсы. Выбор оптимального варианта построения системы основан на оценке значений характеристик и критерия эффективности для всех рассматриваемых вариантов. Выполнение такой оценки для заданного варианта построения системы на каждом шаге итерационного процесса осуществляется с помощью процедуры оптимального параметрического анализа. При этом выбор оптимального вектора параметров для заданной альтернативы построения ИТС базируется на результатах решения задачи распределения смешенных потоков (РСП) [14, 35, 36]. Таким образом, процедура синтеза обязательно включает в себя процедуру анализа ИТС. Итерационный процесс выбора оптимальной альтернативы может давать различные результаты, которые зависят в какой-то степени от опыта проектировщика, не говоря уже о его субъективных представлениях. Поэтому разработка методик и алгоритмов оптимального проектирования позволила бы в значительной мере исключить субъективизм в принятии решения и дала бы возможность проводить синтез ИТС с помощью ЭВМ. Решение задач (5.1) и (5.3) связано с определенными математическими и вычислительными трудностями и требует разработки соответствующих методов.

Сущность методики состоит в том, что сначала отыскиваются минимальные значения V_{ij} пропускных способностей межузловых трактов, при которых обеспечивается строгое равенство в формуле (3.10), т. е. при условии максимальной загрузки тракта речевым трафиком с учетом требований на качество его обслуживания при предоставлении инфокоммуникационной услуги. Затем для найденных значений L_{opt}^{Bp} , $\rho_{ij}^{Bp \max}$ и V_{ij} рассчитывается максимальная допустимая загрузка трактов сети ρ_{ij}^{Cp} трафиком данных класса C с учетом ограничений на качество его транспортировки при условии, что все параметры первой задачи найдены и фиксированы. Если эти величины меньше чем заданные, т. е. не выполняется условие (4.5), производится наращивание значений V_{ij} до тех пор, пока неравенство (4.5) не превратится в равенство. Особенность

рассматриваемой задачи в том, что на каждом шаге происходит пересчет оптимальных длин речевых пакетов L_{opt}^{Bp} и это приводит к периодическому смещению (релаксации) значения оптимума. Полученные значения минимально необходимой скорости V_{ij}^{\min} работы ЛЦТ для заданных величин входных трафиков Y^{Bp} и Y^{Cp} , легко пересчитываемые в стоимость аренды каналов первичной сети, могут служить хорошим критерием для сравнения различных вариантов ИТС и выбора среди них наилучшего (самого дешевого).

Алгоритм расчета ИТС минимальной пропускной способности, реализованной на технологии IP-QoS, использующий известный алгоритм скользящего допуска, отличается встроенной специальной процедурой «оптимизатор», позволяющей находить и отслеживать оптимум функции многих переменных в условиях смещения указанного оптимума, т. е. используется алгоритм управляемого скользящего допуска по специальным условиям: оптимизационный процесс поиска $\rho_{ij}^{Bp \max}$, L_{opt}^{Bp} и $\rho_{ij}^{Cp \max}$, L_{opt}^{Cp} для трафика различных классов на каждом шаге итерационной процедуры управляется явно заданными величинами входных мультимедийных потоков и заданными условиями переноса. При заданной структуре статических маршрутов и для фиксированных значений переменных оптимизации ρ_{ij}^{Bp} и ρ_{ij}^{Cp} каждой реализации им соответствуют некоторые контрольные (пробные) матрицы Y^{Bp} и Y^{Cp} . Для каждого значения входа на каждом шаге итерационного процесса отыскивается оптимальное значение длины соответствующего протокольного блока L_{opt}^{Bp} и L_{opt}^{Cp} .

Исходными данными к задаче являются: матрицы нагрузок Y^{Bp} и Y^{Cp} ; множество корневых деревьев путей R_{st}^{Bp} и R_{st}^{Cp} , а также вектора ρ_{ij}^{Bp} и ρ_{ij}^{Cp} для всех $st \in S^k$; заданные величины d^B , θ_{st}^{Bp} и T^{Cp} ; скорости абонентских установок речи и данных v^B и ω^C ; параметры заголовков протокольных блоков речи и данных H_{IP} , H_{NA} ; уровень ошибок в каналах сети p_{ow} . Обозначим Δ_{ij}^B и Δ_{ij}^C исходные значения шага наращивания скорости передачи для трафика речи и данных соответственно.

Положим, как и прежде

$$\widehat{a}_{ij}^{Bp} = \sum_{st \in S^B} \sum_{m=1}^{M_{st}^B} \widehat{a}_{st}^{Bp} p_{st,m}^{Bp}; \quad \widehat{a}_{ij}^{Cp} = \sum_{st \in S^C} \sum_{m=1}^{M_{st}^C} \widehat{a}_{st}^{Cp} p_{st,m}^{Cp}.$$

Введем служебные вектор-индикаторы I_{ij}^B и I_{ij}^C для всех $ij \in J^k$. Задача решается в следующей последовательности.

1. Положить $V_{ij} = \eta^{Bp} v^B a_{ij}^{Bp}$, $I_{ij}^B = 1$ для всех $ij \in J$, т. е. все ЛЦТ пропускают заданную речевую нагрузку.
2. При заданной топологии сети, структуре потоков, заданной в виде матриц тяготений Y^{Bp} и Y^{Cp} и заданной системе маршрутов R_{st}^{Bp} и R_{st}^{Cp}

, решить первую задачу анализа (4.1) и определить значение L_{opt}^{Bp} и $\rho_{ij}^{Bp \max}$ (варьируются $\widehat{\rho}_{ij}^{Bp}$ (матрицы нагрузок Y^{Bp}) и при каждой итерации вычисляются L_{opt}^{Bp} с проверкой на ограничения (4.2)).

3. Если $L_{opt}^{Bp} < H_{IP}^B$ или имеется хотя бы одно $ij \in J^B$, для которого $\widehat{\rho}_{ij}^{Bp} \leq 0$, то для таких $ij \in J^B$ положить $V_{ij} = V_{ij} + \Delta_{ij}^B$ и перейти к шагу 2. Иначе перейти к шагу 4.

4. Вычислить значения $\widehat{\rho}_{ij}^{Bp} = \frac{L^{Bp} + H_{NA}}{L^{Bp} - H_{IP}} \frac{v^B}{V_{ij}} \widehat{a}_{ij}^{Bp} \eta$.

5. Вычислить значения $\xi_{ij} = |\widehat{\rho}_{ij}^{Bp} - \rho_{ij}^{Bp \max}|$ для всех $ij \in J$.

6. Если для всех $ij \in J^B$ $\xi_{ij} < \varepsilon^B$ (ε^B – заданная константа), то перейти к 8. Иначе перейти к 7.

7. Для всех $ij: \xi_{ij} > \varepsilon^B$ найти $\max_{ij} \xi_{ij}$. Пусть индекс этого числа равен

pq .

Если $\widehat{\rho}_{pq}^{Bp} < \rho_{pq}^{Bp}$ и $I_{pq}^B = 1$, то $\Delta_{pq}^B = \Delta_{pq}^B / 2$, $I_{pq}^B = -1$, $V_{pq} = V_{pq} - \Delta_{pq}^B$. Перейти к 2.

Если $\widehat{\rho}_{pq}^{Bp} < \rho_{pq}^{Bp}$ и $I_{pq}^B = -1$, то $V_{pq} = V_{pq} - \Delta_{pq}^B$ и перейти к 2.

Если $\widehat{\rho}_{pq}^{Bp} > \rho_{pq}^{Bp}$ и $I_{pq}^B = 1$, то $V_{pq} = V_{pq} + \Delta_{pq}^B$. Перейти к 2.

Если $\widehat{\rho}_{pq}^{Bp} > \rho_{pq}^{Bp}$ и $I_{pq}^B = -1$, то $\Delta_{pq}^B = \Delta_{pq}^B / 2$, $I_{pq}^B = 1$, $V_{pq} = V_{pq} + \Delta_{pq}^B$. Перейти к 2.

8. Для найденных значений V_{ij}^{\min} решить вторую задачу анализа (4.3.).

9. Если $L^{Cp} \leq H_{IP}$, то положить $\min_{ij} V_{ij} = \min_{ij} V_{ij} + \Delta_{ij}^C$ и перейти к 8.

Иначе перейти к 10.

10. Вычислить значения $V_{ij}^{Cp \min}$ по формуле (3.21).

11. Если $\Theta^{\min} \widehat{a}_{ij}^{Cp} \leq V_{ij}^{Cp \min}$, $\forall ij \in R_{st}^C$, то «Конец», иначе $I_{ij}^C = 1$, $V_{ij} = V_{ij} + \Delta_{ij}^C$

$\forall ij: \Theta^{\min} \widehat{a}_{ij}^{Cp} > V_{ij}^{Cp \min}$ и перейти к 12.

12. Решить задачи анализа (4.1) и (4.3).

13. Вычислить значение $V_{ij}^{Cp \min}$ по формуле (3.21).

14. Вычислить значение $\xi_{ij} = |\Theta^{\min} \widehat{a}_{ij}^{*Cp} - V_{ij}^{Cp \min}|$ для всех $ij \in J^C$.

15. Если для всех $ij \in J$ $\xi_{ij} < \varepsilon^C$ (ε^C – заданная константа), то «Конец». Иначе перейти к 16.

16. Для всех $ij: \xi_{ij} > \varepsilon^C$ найти $\max_{ij} \xi_{ij}$. Пусть индекс равен pq .

Если $\Theta^{\min} \widehat{a}_{pq}^{Cp} < V_{pq}^{Cp}$ и $I_{pq}^C = 1$, то $\Delta_{pq}^C = \Delta_{pq}^C / 2$, $V_{pq} = V_{pq} + \Delta_{pq}^C$, $I_{pq}^C = -1$. Перейти к 12.

Если $\Theta^{\min} \widehat{a}_{pq}^{Cp} < V_{pq}^{Cp}$, $I_{pq}^C = -1$, то $V_{pq} = V_{pq} - \Delta_{pq}^C$. Перейти к 12.

Если $\Theta^{\min} \hat{a}_{pq}^{Cp} > V_{pq}^{Cp}$, $I_{pq}^C = 1$, то $V_{pq} = V_{pq} + \Delta_{pq}^C$. Перейти к 12.

Если $\Theta^{\min} \hat{a}_{pq}^{Cp} > V_{pq}^{Cp}$, $I_{pq}^C = -1$, то $\Delta_{pq}^C = \Delta_{pq}^C / 2$, $V_{pq} = V_{pq} + \Delta_{pq}^C$, $I_{pq}^C = 1$. Перейти к 12.

17. «Конец».

Данный алгоритм может быть использован как отдельный модуль пакета программ на этапе структурного проектирования пакетных инфотелекоммуникационных сетей. Указанный модуль может выполнять (кроме основной процедуры вычисления значений функционалов и ограничений в каждой вершине многогранника в процессе осуществления поиска решения методом скользящего допуска) ряд дополнительных процедур, позволяющих отдельно вычислять:

а) ограничения в соответствии с выражениями (4.2) и (4.3) для множеств S^k ;

б) загрузки каналов сети пакетами речи $\hat{\rho}_{ij}^{Bp}$ и данных ρ_{ij}^{Cp} ;

в) критерии эффективности использования ресурса пропускной способности ИТС - K_{st}^{Bp} и K_{st}^{Cp} ;

г) общесетевые критерии эффективности K^k использования пропускной способности сети разнородной нагрузки.

Отметим, что приведенный алгоритм позволяет по заданным величинам разнородных трафиков определить минимально необходимую скорость передачи для ИТС-IP-QoS, и, тем самым, определить минимальную стоимость аренды каналов первичной сети (с пересчетом на стандартные телефонные каналы) по действующим тарифам.

5.2. Инженерные методики и алгоритмы синтеза однородных инфотелекоммуникационных АТМ-СІФ- систем

В результате решения задачи анализа определяется номинальная скорость передачи трафика данных класса C в рамках организации сетевых мультимедийных соединений в однородных пакетной и гибридной ИТС на технологии АТМ-СІФ при заданных условиях их транспортировки, если задан объем речевого трафика классов $A(B)$ a_{st}^A , ($a_{st}^{Bp(s)}$) и фиксирована скорость V работы ЛЦТ. Более интересной является обратная задача: как по заданным величинам трафиков класса $A(B)$ и C определить минимально необходимую скорость V^{\min} работы ЛЦТ с учетом ограничений на качество их транспортировки. Решить задачу позволяют модели и методы анализа процессов функционирования ИТС на технологии АТМ-СІФ, полученные в разделах 3 и 4. Эта минимально необходимая скорость работы ЛЦТ для заданных величин трафиков, легко пересчитываемая в стоимость аренды каналов первичной сети, может служить хорошим критерием для сравнения различных ИТС и выбора среди них наилучшей (самой дешевой).

Особенностью рассматриваемой задачи является то, что на каждом шаге происходит полный пересчет оптимальных длин речевых пакетов и

пакетов данных, что приводит к периодическому смещению (релаксации) значения минимальной скорости и тем самым к возможному заикливанью программы в процессе поиска. В предлагаемых алгоритмах приняты меры для борьбы с этим явлением.

В разделах 5.2.1. и 5.2.2. для конкретных значений $a_{st,m}^{Bp(g)} (a_{st,m}^{Ag})$ речевого трафика класса $B(A)$ и трафика класса $C - V_{st}^{Cp(g)} (V_{st}^{Cg})$ приведены инженерные методики и алгоритмы для расчета пропускной способности типового тракта передачи минимальной производительности в пакетной и гибридной ИТС-АТМ-СІФ при одинаковых условиях проектирования. В заключение приводится сравнение указанных ИТС по параметру $V_{st}^{Cp(g)\min} (V_{st}^{Cg\min})$.

5.2.1. Инженерная методика и алгоритм расчета однородной пакетной ИТС АТМ-СІФ минимальной пропускной способности

Сущность предлагаемой инженерной методики рассмотрим на примере пакетной ИТС, реализованной на технологии АТМ-СІФ. Она заключается в том, что в начале находится номинальная скорость V^{\min} работы составного «типового» тракта, при которой величина загрузки системы $\hat{\rho}_{ij}^{Bp(g)}$, определяемая заданной величиной пропущенного речевого трафика $\hat{a}_{ij}^{Bp(g)}$ класса B , равна максимально допустимой $\rho_{ij}^{Bp(g)\max}$. Затем рассчитывается максимальная скорости $V_{st}^{Cp(g)\min}$ передачи трафика данных класса C , которую может пропустить тракт $st \in S^C$ при $\hat{\rho}_{ij}^{Bp(g)} = \rho_{ij}^{Bp(g)\max}$. Если эта величина $V_{st}^{Cp(g)\min} \leq a_{st}^{Cp(g)} \Theta^{\min}$, то происходит наращивание скорости в тракте до тех пор, пока они не сравняются.

Алгоритм расчета однородной пакетной ИТС, реализованной на технологии АТМ-СІФ минимальной производительности использует известный алгоритм детохомии, отличающийся применением специальной процедуры «оптимизатор», позволяющей находить и отслеживать оптимум функции многих переменных в условиях смещения указанного оптимума, т. е. используется алгоритм управляемой детохомии по специальным условиям: оптимизационный процесс поиска минимальной скорости передачи в тракте передачи для трафика различных классов на каждом шаге управляется явно заданными величинами входных трафиков речи и данных и заданными условиями передачи. Ниже приводится описание алгоритма-оптимизатора, реализующего предложенную методику.

Исходные данные: d^B , $\theta_{st}^{Bp(g)}$, v^B , $H_{SAR}^{VBRrt} = 24$ бит, $H_{ATM} = 40$ бит, $\eta^{Bp(g)}$, n , $H_{SAR}^{ABR} = 32$ бит, ω^C , T_s^{Cp} , p , $\hat{a}_{st}^{Cp(g)}$ (заданная величина трафика данных), a_{st}^{Bp} (заданная величина речевого трафика); Δ^B (исходный шаг наращивания скорости передачи в тракте для речевого трафика), Δ^C (исходный шаг наращивания скорости передачи в тракте для трафика данных). Алгоритм

параметрического синтеза однородных транспортных каналов пакетной ИТС- АТМ-СІФ минимальной производительности следующий.

1. По формуле (3.42) найти z , положить $\widehat{V}_{st}^{Bp(g)} = \eta^{Bp(g)} v^B \widehat{a}_{st}^{Bp(g)}$, СЧ=1 (счетчик, фиксирующий направление изменения величины для речевого трафика) и перейти к 2.

2. По формулам (4.20) и (3.43) найти $l_{optCIF}^{Bp(g)}$ и $\rho_{ij}^{Bp(g)max}$ Перейти к 3.

3. Если $\rho_{ij}^{Bp(g)max} \leq 0$ или $\rho_{ij}^{Bp(g)max} > 1$ или $l_{optCIF}^{Bp(g)} \leq H_{SAR}^{VBR}$, то положить $V =: V + \Delta^B$ и перейти к 2, иначе перейти к 4.

4. По формуле (3.46) найти $\widehat{\rho}_{ij}^{Bp(g)}$ и перейти к 5.

5. Если $|\widehat{\rho}_{ij}^{Bp(g)} - \rho_{ij}^{Bp(g)max}| \geq \varepsilon_1$ (ε_1 – заданная константа, например, 10^{-8}), то перейти к 6, иначе вычислить, печатать $V_{st}^{Bp(g)min}$ (3.67) и перейти к 7.

6. Если $\widehat{\rho}_{ij}^{Bp(g)} < \rho_{ij}^{Bp(g)max}$ и СЧ=1, то положить $\Delta = \frac{\Delta^B}{2}$, СЧ=-1, $V =: V - \Delta^B$ (новое значение шага, равное половине предыдущего) и перейти к 2.

Если $\widehat{\rho}_{ij}^{Bp(g)} < \rho_{ij}^{Bp(g)}$ и СЧ=-1, то положить $V =: V - \Delta^B$ и перейти к 2.

Если $\widehat{\rho}_{ij}^{Bp(g)} > \rho_{ij}^{Bp(g)}$ и СЧ=1, то положить $V =: V + \Delta^B$ и перейти к 2.

Если $\widehat{\rho}_{ij}^{Bp(g)} > \rho_{ij}^{Bp(g)}$ и СЧ=-1, то положить $\Delta^B = \frac{\Delta^B}{2}$, СЧ=1, $V =: V + \Delta^B$, (новое значение шага, равное половине предыдущего) и перейти к 2.

7. По формуле (4.21) найти $l_{optCIF}^{Cp(g)}$ (при этом если на каком-либо шаге k $l_{optCIF}^{Cp(g)} \leq 0$, то положить $V =: V + 1000$ и с новым значением V по формуле (4.21) найти $l_{optCIF}^{Cp(g)}$) и перейти к 8.

8. По формуле (3.68) найти $V_{st}^{Cp(g)min}$ и перейти к 9.

9. Если $\ominus^{min} \widehat{a}_{st}^{Cp(g)} < V_{st}^{Cp(g)min}$, то печать $V_{st}^{Cp(g)min}$, иначе положить СЧ=1 (счетчик, фиксирующий направление изменения величины V для трафика класса C), $V =: V + \Delta^C$ и перейти к 10.

10. По формулам (4.20), (3.48), (4.21), (3.68). Найти $l_{optCIF}^{Bp(g)}$, $\widehat{\rho}_{ij}^{Bp(g)}$, $l_{optCIF}^{Cp(g)}$, $V_{st}^{Cp(g)min}$ и перейти к 11.

11. Если $|\widehat{a}_{st}^{Cp(g)} - V_{st}^{Cp(g)min}| \geq \varepsilon_2$ (ε_2 – заданная константа, например, 0,1), то перейти к 12, иначе печать $V_{st}^{Cp(g)min}$ и перейти к 13.

12. Если $\widehat{a}_{st}^{Cp(g)} < V_{st}^{Cp(g)min}$, СЧ=1, то положить СЧ=-1, $\Delta^C =: \frac{\Delta^C}{2}$, $V =: V - \Delta^C$ (новое значение шага, равное половине предыдущего) и перейти к 10.

Если $\widehat{a}_{st}^{Cp(g)} > V_{st}^{Cp(g)min}$, СЧ=1, то положить $V =: V + \Delta^C$ и перейти к 10.

Если $\widehat{a}_{st}^{Cp(g)} > V_{st}^{Cp(g)min}$, СЧ=-1, то положить $V =: V + \Delta^C$ и перейти к 10, иначе положить СЧ=1, $\Delta^C = \frac{\Delta^C}{2}$, $V =: V + \Delta^C$ (новое значение шага, равное

половине предыдущего) и перейти к 10.

13. По формуле (3.69) вычислить $R_{st}^{p(g)}$.

14. «Конец».

5.2.2. Инженерная методика и алгоритм расчета однородной гибридной ИТС АТМ-СІF минимальной пропускной способности

Пусть a_{st}^A заданная величина речевого трафика класса A (Эрл), которую должен пропустить тракт при потерях b^{malty} . Сущность предлагаемой инженерной методики для гибридной ИТС-АТМ-СІF заключается в следующем. Вначале, используя рекурсивное представление потерь $b^{malty}(\hat{\Theta}_{st}^A)$ на полнодоступном пучке из $\hat{\Theta}_{st}^A$

«речевых» каналов: $b^{malty}(\hat{\Theta}_{st}^A) = \frac{a_{st}^A b (\hat{\Theta}_{st}^A - 1)}{\hat{\Theta}_{st}^A + a_{st}^A b (\hat{\Theta}_{st}^A - 1)}$, $b^{malty}(0) \equiv 1$, находится

минимально возможное число эквивалентных СBR-каналов, которое может быть организовано в СBR-тракте передачи, для обслуживания

речевой нагрузки $\hat{a}_{st}^A = y^{malty} \cdot t_{чAC}^{malty} \frac{Mark^A}{t_{чAC}} b^{malty}$ службой СBR. Здесь y^{malty} –

число мультимедийных вызовов в час с организацией соединений A -класса пропускной способности $Mark^A$, кратной базовой минимальной ширине полосы пропускания Θ^{\min} , требуемой для обслуживания самого

«медленного» речевого приложения в сети. Здесь $Mark^A = \sum_{q=1}^Q \left[\frac{v^A}{\Theta^{\min}} \right] -$

суммарная марка речевого трафика класса A -класса. Эта величина

должна удовлетворять неравенству $\hat{\Theta}_{st}^A \leq \Theta_{st}^A$, где $\Theta_{st}^A = \frac{v^A \tau^A (1 - e^{-\frac{L-H_{SAR}^A}{v^A \tau^A}})}{l_{optCIF}^A + H_{ATM}} \frac{V}{v^A}$

(3.56) – максимально возможное число эквивалентных «речевых» каналов, которое может быть организовано в тракте передачи гибридной ИТС на уровне АТМ. Затем рассчитывается максимальная скорость $V_{st}^{C_g \min}$

передачи трафика данных класса C . Если эта величина $V_{st}^{C_g \min} \leq a_{st}^{C_g} \Theta^{\min}$, то происходит наращивание скорости в тракте до тех пор, пока они не сравниваются.

Ниже приводится описание алгоритма-оптимизатора, реализующего предложенную методику.

Исходные данные: n , b^A , b^{C_g} , v^A , ω^{C_g} , $T_{st}^{C_g}$, H_{SAR}^{ABR} , $H_{SAR}^{CBR} = 8$ бит, H_{ATM} , p , τ^A , a_{st}^A (заданная величина речевого трафика), $a_{st}^{C_g}$ (заданная величина трафика данных), Δ_2 – исходный шаг наращивания скорости передачи в тракте для трафика данных.

$$1. \text{ Найти } \hat{\Theta}_{st}^A \equiv \Theta(\hat{a}_{st}^A, b) = \min \left\{ m : \left(\frac{a_{st}^{Am}}{m!} / \sum_{i=0}^m \frac{a_{st}^{Ai}}{i!} \right) - b \leq 0 \right\}$$

(используется рекурсивное представление потерь $b^{malty}(\hat{\Theta}_{st}^A)$ на полnodоступном пучке из $\hat{\Theta}_{st}^A$ «речевых» каналов:

$$b^{malty}(\hat{\Theta}_{st}^A) = \frac{a_{st}^A b (\hat{\Theta}_{st}^A - 1)}{\hat{\Theta}_{st}^A + a_{st}^A b (\hat{\Theta}_{st}^A - 1)}, \quad b^{malty}(0) \equiv 1 \text{ и перейти к 2.}$$

$$2. \text{ По формуле (4.24) найти } l_{optCIF}^A, \text{ положить } V = \frac{v^A \tau^A (1 - e^{-\frac{l_{optCIF}^A - H_{SAR}^A}{v^A \tau^A}})}{l_{optCIF}^A + H_{ATM}} v^A$$

$\hat{\Theta}^A$ и перейти к 3.

3. По формуле (3.58) найти V_{st}^{\varnothing} и перейти к 4.

4. По формуле (4.25) найти $l_{optCIF}^{C_g}$ (при этом если на каком-либо шаге $k \quad x_k \leq 0$, то положить $V = V + 1000$ и перейти к 3, иначе найти x) и перейти к 5.

5. По формуле (3.68) найти $V_{st}^{C_g \min}$ и перейти к 6.

6. Если $\Theta^{\min} a_{st}^{C_g} \leq V_{st}^{C_g \min}$ то «Конец» и печать V , иначе положить $СЧ = 1$; $V = V + \Delta_2$ и перейти к 7.

7. По формулам (3.58), (4.25), (3.68) найти: V_{st}^{\varnothing} , $l_{optCIF}^{C_g}$, $V_{st}^{C_g \min}$ и перейти к 8.

8. Если $|\Theta^{\min} a_{st}^{C_g} - V_{st}^{C_g \min}| \geq \varepsilon_2$ (ε_2 – заданная константа, например, 0,1), то перейти к 9, иначе «Конец» и печать V .

9. Если $\Theta^{\min} a_{st}^{C_g} < V_{st}^{C_g \min}$, $СЧ = 1$, то положить $СЧ = -1$, $\Delta_2 = \frac{\Delta_2}{2}$, $V = V - \Delta_2$ (новое значение шага, равное половине предыдущего) и перейти к 7.

Если $\Theta^{\min} a_{st}^{C_g} < V_{st}^{C_g \min}$, $СЧ = -1$, то положить $V = V - \Delta_2$ и перейти к 7.

Если $\Theta^{\min} a_{st}^{C_g} > V_{st}^{C_g \min}$, $СЧ = 1$, то положить $V = V + \Delta_2$ и перейти к 7.

Если $\Theta^{\min} a_{st}^{C_g} > V_{st}^{C_g \min}$, $СЧ = -1$, то положить $СЧ = 1$, $\Delta_2 = \frac{\Delta_2}{2}$, $V = V + \Delta_2$

(новое значение шага, равное половине предыдущего) и перейти к 7.

Вопросы для самопроверки

1. Чем отличается алгоритм выбора пропускной способности неоднородной ИТС-IP-QoS от известного алгоритма скользящего допуска?

2. Как указанный алгоритм решает задачу выбора минимальной пропускной способности системы?

3. Сформулируйте инженерную методику выбора пропускной способности «типового» тракта передачи однородной пакетной ИТС-АТМ-СІF минимальной производительности.

4. В чем заключается отличие алгоритма выбора пропускной способности «типового» тракта передачи однородной пакетной ИТС-АТМ-СІF минимальной пропускной способности от известного алгоритма детохомии?

5. Сформулируйте инженерную методику выбора пропускной способности «типового» тракта передачи однородной гибридной ИТС на технологии АТМ-СІF, позволяющую определять минимально возможное число эквивалентных СВR-каналов, которое может быть организовано в СВR-тракте передачи, для обслуживания речевой нагрузки службой СВR.

6. Сформулируйте основную идею алгоритма определения минимально возможного числа эквивалентных СВR-каналов в тракте передачи

7. Какой алгоритм используется в алгоритме-оптимизаторе?

8. Что позволяют сравнивать инженерные методики и алгоритмы расчета минимально необходимой пропускной способности «типовых» трактов передачи в пакетных и гибридных ИТС?

Литература

1. ITU-T Recommendation Y. 110. Global Information Infrastructure principles and framework architecture, 1998.
2. Концептуальные положения по построению мультисервисных сетей на ВСС России / Минсвязи России. М., 2001.
3. Агапов В., Яковлев С., Пратусевич В. Обзор и оценка перспектив развития мирового и российского рынков информационных технологий, –<http://fs.moex.com/files/9216>, November 2014
4. Найдич А.И. "Третья платформа" - платформа трансформаций ИТ // Компьютер Пресс. № 11. 2013, С. 22-27
5. Колбанёв А.М., Колбанёв М.О., Цехановский В.В. Проектирование корпоративных информационных систем. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2016.
6. Tim O'Reilly. Web 2.0: The economics of memetic liberty and control. Communication, Politics and Culture 42 (2) Allen, Matthew. 2009.: pp. 6-23
7. Internet of Things (IoT) & Machine-To-Machine (M2M) Communication Market By Technologies & Platforms – <http://www.marketsandmarkets.com>, 10.05.2016
8. Тихвинский В.О. Партнерский проект oneM2M // Электросвязь. – 2012. № 11 С. 18-20
9. Министерство связи и массовых коммуникаций Российской Федерации – <http://minsvyaz.ru/ru/events/33396/>, 10.05.2016

10. Кох, Р. Эволюция и конвергенция в электросвязи / Р. Кох, Г. Яновский. М.: Радио и связь. 2001. 279с
11. Гургенидзе, А.Т. Мультисервисные сети услуги широкополосного доступа / А.Т. Гургенидзе, В.И. Кореш. СПб.: Наука и техника, 2003. 400 с.: ил.
12. Гольдштейн, Б.С. Протоколы сети доступа / Б.С. Гольдштейн. М.: Радио и связь. 1999. 317 с.
13. Соколов, Н.А. Сети абонентского доступа. Принципы построения / Н.А. Соколов М.: ЗАО «ИГ Эntер-профи», 1999. 254 с.
14. Мошак Н.Н. Теория проектирования транспортной системы инфокоммуникационной сети.: Учебное пособие для ВУЗов, «Энергомашиностроение», СПб, 2006, 159с
15. Назаров, А.Н. АТМ: технология высокоскоростных сетей / А.Н. Назаров, М.В. Симонов. М.: ЭКО-ТРЕНДЗ, 1997. 252 с.
16. Ginsburg, D. АТМ solution for enternetworking / D. Ginsburg. Addison Wesley Longman, 1996. P. 569.
17. Голд, Б. Цифровые методы передачи речи / Б. Голд // ТИИЭР. 1977. Т.65. №12. с. 5–13
18. Grubber, J.G. Delay related issues in integrated voice and data networks / J.G. Grubber : IEEE Trans.Commun. 1981. № 29. p. 786–900
19. Жданов, Д.А. Рассказов, Д.А. Смирнов и др.; под ред. В.Ю. Бабкова, М.А. Вознюка; СПбГУТ. СПб., 2001.
20. Буассо, М. Введение в технологию АТМ /М. Буассо, М. Деманаж, Ж.-М. Мюнье. М.: Радио и связь, 1997. 128 с
21. Такач, Л. Некоторые вероятностные задачи в телефонии / Л. Такач // В сб. переводов «Математика» 4:6. М.: ИЛ, 1960. с. 93–143
22. Такаес, L. Introduction to the Thejry of Quenes / L. Такаес. N.Y.: Oxford Univ Press, 1962.
23. Амосов А.А., Мошак Н.Н. Метод расчета основных параметров пакетной транспортной системы интегральной цифровой сети связи. Автоматика и вычислительная техника, Рига, Зинатне, 1994, №6
24. Амосов, А.А. Модель сети передачи данных / А.А.Амосов // Техника средств связи, сер. ТПС. – 1979. - вып. 8. - с.20-25
25. Flanagan, J.L. Packet transmission of speech, United States Patent; 4.100, 377; Jul.11, 1978, p.p. 1-10, Int. Cl. H04J6/02; US.Cl. 179/15 AS
26. Пуртов, Л.П. Основные закономерности распределения ошибок в дискретных каналах связи / Л.П. Пуртов, А.С. Замрий, А.И. Захаров // Электросвязь. – 1967. - № 2. - с. 24-29
27. Кучерявый, Е.А. Управление трафиком и качество обслуживания в сети Интернет / Е.А. Кучерявый. СПб.: Наука и техника, 2004. 336 с.: ил.

28. Клейнрок, Л. Вычислительные системы с очередями / Л. Клейнрок. М.: Мир, 1979. 600 с
29. Захаров, Г.П. Двухполюсные сети связи для интегральной передачи речи и данных / Г.П. Захаров, В.В. Лохмотко, К.И. Пирогов // Техника средств связи. Сер. ТПС. 1984. Вып. 8. с. 3–10.
30. Химмельблау, Д. Прикладное нелинейное программирование / Д. Химмельблау; пер. с англ. И.М. Быховской и Б.Т. Вавилова, под ред. М.Л. Быховского. М.: Мир. 1975. 536с.
31. Мошак, Н.Н. Разработка методов расчета транспортных систем цифровых сетей связи интегрального обслуживания: дис. 05.12.14 канд. тех. наук : защищена 27.12.1984 : утв. 15.05.1985 / Мошак Николай Николаевич. Л., 1984. 242 с
32. Аленов, О.М. АТМ в кадрах переменной длины / О.М.Аленов // Сети и системы связи. 1999 . №3(37). с. 84-87
33. Шаршаков, А. Реализация и развитие технологии АТМ корпорацией IBM / А. Шаршаков // Сети. 1998. №1. с. 30-41
34. Коллатц, Л. Функциональный анализ и вычислительная математика / Л. Коллатц. М.: Мир. 1969. 448 с.
35. Лохмотко, В.В. Анализ и оптимизация цифровых сетей для интегрального обслуживания / В.В. Лохмотко, Пирогов К.И. Мн.: Наука и техника, 1991. 192 с.
36. Лохмотко, В.В. Модели и методы оптимизации структуры телекоммуникационных сетей: автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.12.14 / Лохмотко Владимир Васильевич. СПб., 1998. 36 с.