

На правах рукописи

Мошак Николай Николаевич

**Модели, методы и алгоритмы анализа
процессов функционирования
инфотелекоммуникационных транспортных систем**

Специальность: 05.13.13 – Телекоммуникационные системы и компьютерные сети

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук

Санкт-Петербург
2009

Работа выполнена в Государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А.Бонч-Бруевича»

Научный консультант: доктор технических наук, профессор
Колбанев Михаил Олегович

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор,
Воробьев Станислав Павлович

доктор технических наук, профессор,
Осипов Леонид Андроникович

доктор технических наук, профессор,
Яковлев Сергей Алексеевич

Ведущая организация: открытое акционерное общество «Интелтех»

Защита состоится «__» _____ 2009г. в ____ час. ____ мин. на заседании совета по защите докторских и кандидатских диссертаций Д.212.238.01 при Государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И.Ульянова (Ленина)» по адресу: 197376, Санкт-Петербург, ул.проф. Попова, д. 5

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И.Ульянова (Ленина)»

Автореферат разослан «__» _____ 2009г.

Ученый секретарь
по защите докторских и
кандидатских диссертаций

Пантелеев М.Г.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Информационное общество XXI века требует создания его технической основы - глобальной информационной инфраструктуры, предоставляющей пользователям необходимые информационные ресурсы и услуги в любое время и из любого места посредством дистанционного доступа, организуемого на основе инфокоммуникационных сетей. Услуги глобальной информационной инфраструктуры в рекомендациях сектора стандартизации Международного союза электросвязи определяются как инфоуслуги - информационные услуги с комплексным предоставлением информации. В федеральной программе «Электронная Россия на 2002-2010 годы» предусмотрены первоочередные задачи по универсальному обслуживанию населения с предоставлением инфоуслуг, а именно, доступа к телефонной связи и сети Интернет в любом населенном пункте страны с возможностью переноса речи и данных. В этой связи создание национальной инфокоммуникационной сети является проблемой ближайшей перспективы, а разработка аналитического аппарата для инженерного анализа процессов ее функционирования является весьма актуальной задачей.

Область взаимодействия инфокоммуникационной сети в терминах модели взаимодействия открытых систем образует цифровая телекоммуникационная мультисервисная сеть связи, в которой основные сетевые характеристики интегрального обслуживания трафика различной природы обеспечивает ее коммуникационное мультипротокольное ядро – инфотелекоммуникационная транспортная система. Инфотелекоммуникационная транспортная система реализует услуги переноса (bearer service) мультимедийной информации между сетевыми окончаниями, называемые инфокоммуникационными услугами связи. При этом доставка инфоуслуг осуществляется на единый мультимедийный пользовательский терминал через стандартный широкополосный интерфейс.

Проблеме создания теории анализа и синтеза цифровых сетей с интеграцией служб, обеспечивающих перенос в сессии различных типов информации единым образом в общей физической среде, посвящены многие научные и практические исследования отечественных и зарубежных ученых ведущих мировых стран, которые проводятся с конца 60-х гг. прошлого столетия (Амосов А.А., Башарин Г.П., Богатырев В.А., Гоголь А.А., Гольдштейн Б.С., Воробьев С.П., Дудин А.Н., Захаров Г.П., Ершов В.А., Колбанев М.О., Крук Е.А., Кутузов О.И., Кучерявый А.Е., Лазарев В.Г., Лохмотко В.В., Мизин И.А., Назаров А.Н., Осипов Л.А., Татарникова Т.М., Шварцман В.О., Чугреев О.С., Советов Б.Я., Яковлев С.А., Яновский Г.Г., Яшин А.И., Б. Голд, Джитман И., Франк Х., Клейнрок Л, Мартин Д., М. Шварц, J. G. Grubber, D. Ginsburg, McDysan D. E., Spohn D. L., и др.). Это связано с более эффективным использованием сетевых ресурсов и повышением качества обслуживания пользователей. В настоящее время в цифровых телекоммуникационных мультисервисных сетях связи пользовательские терминалы подключаются к сети через типовые стандартные интерфейсы и ориентированны на обмен одного типа информации (например, речи или данных). Для организации сессии пользователю предоставляется определенная услуга переноса. Эволюция интегральных транспортных систем показана на рисунке 1.

Необходимость предоставления инфокоммуникационных услуг предполагает новый эволюционный этап интеграции в сетях связи и предъявляет к инфотелекоммуникационным транспортным системам дополнительные требования, связанные со спецификой организации и поддержания мультимедийных соединений (наличие обязательной фазы установления соединений с переменным сетевым ресурсом и заданной многокомпонентной потоковой структурой; блокировки мультимедийных вызовов; появление избыточной мультимедийной нагрузки; фиксации заданного квантиля функции распределения времени пребывания изохронных пакетов в сквозном тракте передачи; смешивания потоков и их синхронизацию в мультимедийной сессии на основе инфокоммуникационной услуги связи; задействование механизмов защиты и др.).



Рисунок1 - Эволюция интегральных транспортных систем

Доступ к глобальным информационным ресурсам требует также обеспечения национальной и международной информационной безопасности, которая затрагивает интересы всего мирового социума. В рамках концепции Взаимоувязанной сети связи Российской Федерации защита сетей и систем управления от несанкционированного доступа, а также обеспечение заданного качества инфокоммуникационных услуг связи в условиях воздействия нарушителя определяются в качестве приоритетных задач. Разработке моделей механизмов защиты в информационно-вычислительных сетях и исследованию их эффективности посвящено значительное количество работ (Галатенко А., Герасименко В.А., Девянин П.Н., Зегжда П.Д., Конявский В.А., Малюк А.А., Мельников В.В., Молдовян А.А., Молдовян Н.А., Толстой А.И., Расторгуев С.П., Щербаков А., Мафтик С., Стенг Д., Вакка Д. и др.). Однако до сих пор остается проблематика неизученности вопроса анализа процессов переноса мультимедиа в цифровых телекоммуникационных мультисервисных сетях связи с учетом базовых услуг безопасности (конфиденциальность, аутентификация, целостность, контроль доступа, причастность), определенных ГОСТ Р ИСО 7498-2-99.

В настоящее время отсутствуют общие принципы и подходы к моделированию и анализу процессов функционирования защищенных инфокоммуникационных сетей, базирующиеся на системном подходе к рассматриваемому вопросу, который предполагает, что все элементы системы и все функциональные процессы в ней должны рассматриваться только как одно целое, только в совокупности и только во взаимосвязи друг с другом. Отсутствуют также и математический аппарат для формализованного описания процессов предоставления инфокоммуникационных услуг связи, имеющий общую методологическую основу построения и позволяющий проводить анализ и синтез всего многообразия реализаций инфотелекоммуникационных транспортных систем с услугами безопасности. Таким образом, существующий уровень моделей и методов анализа функционирования цифровых телекоммуникационных мультисервисных сетей связи, формализующих процессы предоставления отдельных услуг связи для определенных типов информации, не учитывает специфики организации и поддержания инфокоммуникационных услуг связи и находится в противоречии с объективной потребностью создания национальной защищенной инфокоммуникационной сети общего пользования.

Данное противоречие обуславливает существование научной проблемы, заключающейся в необходимости развития теории анализа и синтеза цифровых сетей с интеграцией служб и создания математического аппарата для формализации и анализа защищенных процессов переноса мультимедиа в инфотелекоммуникационных транспортных системах. Существующая научная проблема обусловила выбор темы данного исследования.

Целью диссертационного исследования является разработка теоретических основ и прикладных методов анализа процессов функционирования инфотелекоммуникационных транспортных систем, обеспечивающих повышение их экономической и функциональной эффективности, а также гарантированное качество инфокоммуникационных услуг связи.

Прикладные аспекты поставленной цели связаны с повышением качества проектирования инфокоммуникационных сетей и эффективности использования их сетевых ресурсов (пропускной способности каналов связи, вычислительной мощности коммутаци-

онного оборудования и буферной памяти накопителей). Диссертационная работа является продолжением и развитием результатов исследований научных коллективов в этой области, проводимых в рамках национальных и ведомственных программ в течение последних 30-ти лет.

Предпосылкой для достижения указанной цели являются существующие модели и методы анализа функционирования узкополосных и широкополосных цифровых сетей с интеграцией служб и инфокоммуникационных систем, предложенные в работах профессоров Гоголя А.А., Ершова В.А, Г.П. Захарова, Крука Е.А., Шварцмана В.О., Чугреева О.С., Советова Б.Я и их школ, а также ряда зарубежных ученых, получивших развитие в работах автора.

Объект исследования – инфотелекоммуникационные транспортные системы.

Предмет исследования – процессы функционирования пакетных и гибридных инфотелекоммуникационных транспортных систем в режиме мультимедийной сессии. При этом особое внимание в диссертационной работе уделено моделям и методам анализа функционирования инфокоммуникационных транспортных систем, реализованных на технологиях IP-QoS и ATM-CIF (Cell in Frames, CIF - «ячейка в фреймах»), предложенной корпорацией IBM, а также группой фирм-разработчиков, в которую вошли Cisco Systems, FORE Systems, Nortel и др. Задача анализа защищенной инфокоммуникационной транспортной системы, реализованной на технологии IP-QoS, решена в полной сетевой постановке с учетом широкого набора сетевых факторов, влияющих на качество инфокоммуникационных услуг (топологии сети, объемов и структуры входных мультимедийных потоков; набора статистических альтернативных маршрутов для трафика различных классов; допустимых потерь мультимедийных вызовов; взаимодействия и взаимовлияния мультимедийных информационных потоков при использовании общих канальных и коммутационных ресурсов в сессии; режимов коммутации и уплотнения различных типов информации; особенности реализации всего стека функционально-протокольной структуры; механизмов защиты и др.) при взаимодействии открытых систем по схеме «процесс-процесс». Задачи анализа однородных пакетных и гибридных инфокоммуникационных транспортных систем, реализованных на технологии ATM-CIF, решены применительно к «типовым» сетевым трактам передачи. Цель исследования достигается решением сформулированной научной проблемы и предопределяет решение следующих **научных задач**.

1. Разработать концептуальные основы моделирования и анализа процессов функционирования инфотелекоммуникационных транспортных систем.

2. Разработать комплексные функциональные критерии эффективности инфотелекоммуникационных транспортных систем.

3. Разработать комплекс аналитических моделей процессов функционирования инфотелекоммуникационных транспортных систем.

4. Разработать математические методы и алгоритмы анализа процессов функционирования инфотелекоммуникационных транспортных систем.

5. Разработать инженерные методики и алгоритмы синтеза инфотелекоммуникационной транспортной систем с учетом механизмов защиты информационных ресурсов сети и заданных условий проектирования.

Положения, выносимые на защиту. Полученные лично автором и выносятся на публичную защиту следующие научные результаты, составляющие новизну диссертации:

1. Концептуальные основы моделирования и анализа процессов функционирования инфотелекоммуникационных транспортных систем, определяющие с позиций системного подхода общие принципы формализации процессов предоставления инфокоммуникационных услуг связи и построение критериев эффективности на основе моделей их архитектур.

2. Комплексные критерии эффективности инфотелекоммуникационных транспортных систем, позволяющие оценить их функциональную эффективность.

3. Комплекс аналитических моделей процессов функционирования инфотелекомму-

никационных транспортных систем, реализованных на технологиях IP-QoS и ATM, формализующих процессы предоставления инфокоммуникационных услуг связи и позволяющие рассчитывать их характеристики.

4. Методы и алгоритмы анализа процессов функционирования инфотелекоммуникационных транспортных систем, реализованных на технологиях IP-QoS и ATM, позволяющие оптимизировать их параметры и вычислить оценки функциональной эффективности в численной и количественной форме на основе разработанных критериев с учетом качества инфокоммуникационных услуг связи и механизмов защиты информационных ресурсов сети.

5. Инженерные методики и алгоритмы синтеза наиболее рационального варианта инфотелекоммуникационных транспортных систем, реализованных на технологиях IP-QoS и ATM, с учетом заданных условий проектирования, позволяющие оценить их экономическую эффективность и влияние механизмов защиты на характеристики и ресурсы сети.

Методы исследования. В процессе исследования использовались методы общей теории систем, теории графов, теории вероятностей, теории массового обслуживания, функционального анализа, теории математического программирования, вычислительной математики.

Практическая ценность. Практическая ценность диссертационной работы состоит в том, что ее результаты позволяют автоматизировать процессы анализа и синтеза инфотелекоммуникационных транспортных систем, реализованных на технологиях IP-QoS и ATM, и сэкономить значительные силы и средства в масштабе страны. Широкое применение полученных результатов в виде прикладных пакетов программ при проектировании инфокоммуникационных сетей обеспечивает повышение точности оценок их вероятностно-временных характеристик и качества проектирования, что в конечном итоге

- повышает эффективность использования сетевых ресурсов;
- снижает капитальные и эксплуатационные затраты;
- увеличивает прибыльность и конкурентоспособность промышленных предприятий, научных организаций, операторов и провайдеров, работающих на рынке инфоуслуг;
- гарантирует качество инфотелекоммуникационных услуг.

Практическая ценность работы подтверждается актами внедрения.

Достоверность результатов. Обоснованность и достоверность выносимых на защиту полученных новых положений, выводов и рекомендаций научного и практического характера обусловлены и подтверждаются корректностью математического обоснования проведенных исследований и системным подходом к решению поставленных задач, в том числе

- теоретически обоснованным выбором основных принципов моделирования и анализа функционирования инфотелекоммуникационных транспортных систем и созданием на их основе математических моделей и методов анализа процессов предоставления инфокоммуникационных услуг связи с учетом заданных QoS-норм и эффективности использования сетевых ресурсов;
- применением обоснованного математического аппарата уточненного и развитого с учетом специфики моделирования процессов переноса мультимедиа в сессии и решения указанных задач;
- адекватным выбором качественных показателей и критериев функциональной эффективности инфотелекоммуникационных транспортных систем, постановкой на их основе задач анализа и их корректным решением;
- математическими доказательствами и результатами экспериментальной проверки работоспособности предложенных инженерных методик и алгоритмов на реальных исходных данных проектирования систем;
- всесторонним анализом работ и согласованностью с известными решениями в дан-

ной предметной области;

- широким обсуждением в открытой печати, апробации на всесоюзных и международных конференциях и симпозиумах.

Реализация и внедрение результатов исследований. Большинство полученных в диссертационной работе результатов научных исследований доведено до конкретных инженерных методик, алгоритмов и их программных реализаций, которые внедрены как часть НИОКР на предприятиях ОАО «Гипросвязь СПб», ОАО «Интелтех»; в специализированном центре программных средств «Спектр» научного филиала ФГУП «НИИ «Вектор»»; в ООО НПФ «Кристалл» (г. Пенза); в ЗАО Технический Центр «Альфа-Контакт»; в учебном процессе ВАС им. С.М. Буденного и др. Разработанные в диссертационной работе модели, методы и алгоритмы анализа процессов функционирования инфотелекоммуникационных транспортных систем внедрены также в учебном процессе СПбГУТ им. проф. М.А. Бонч-Бруевича на кафедре «Информационные управляющие системы» при проведении занятий по дисциплинам «Открытые информационные системы», «Административное управление системами почтовой связи», «Архитектура информационных систем управления почтовой связью», «Информационные системы», «Интегральные информационные системы в телекоммуникациях», «Транспортные технологии инфокоммуникационных систем» для специальности 071900 «Информационные системы и технологии». Результаты диссертационной работы использованы также в трех учебных пособиях автора для вузов, одно из которых рекомендовано УМО в области телекоммуникаций по специальности 071900 направления 654700.

В результате решения перечисленных выше задач были получены следующие основные **новые научные и прикладные результаты**:

1. Концептуальные основы моделирования и анализа процессов функционирования инфотелекоммуникационных транспортных систем, отличающиеся предложенными общими принципами построения критериев их эффективности и моделей инфокоммуникационных услуг связи с позиций системного подхода. Предложенные принципы позволяют получить математические модели нового класса, адекватно формализующие процессы переноса мультимедийных информационных потоков заданных объемов и структуры с возможностью одновременного удовлетворения требований к QoS-нормам в рамках предоставления инфокоммуникационных услуг связи. В качестве методологической основы описания инфокоммуникационных услуг связи в диссертации предлагается использовать терминологию и принципы, сформулированные Международной организацией по стандартизации для модели архитектуры взаимодействия открытых систем, с учетом специфики инфокоммуникационных сетей.

2. Комплексные функциональные критерии эффективности инфотелекоммуникационных транспортных систем, отличающиеся единой концептуальной основой построения на основе моделей их архитектур и учетом специфики организации и обслуживания защищенных мультимедийных соединений, позволяющие оценить функциональную и экономическую эффективность систем в численной и количественной форме.

3. Комплекс аналитических моделей процессов функционирования инфотелекоммуникационных транспортных систем, реализованных на технологиях IP-QoS и ATM, в виде моделей уровневых логических мультимедийных соединений. В отличие от известных предложенные модели интегрированы с моделями процессов предоставления услуг безопасности, учитывают параметры всех логических уровней архитектуры систем, широкий набор сетевых факторов, необходимый объем уровневых сетевых ресурсов и уровневую протокольную избыточность, а также качественные показатели инфокоммуникационных услуг связи при «квантильной» постановке их построения, что обеспечивает повышение точности оценок вероятностно-временных характеристик защищенных мультимедийных соединений. В совокупности, указанные модели позволяют проанализировать чувствительность сетевых параметров, рассчитывать верхние оценки параметров указанных систем и квантили распределения времени пребывания речевых пакетов или пакетов дан-

ных в сквозном тракте передачи, определять допустимые пороги по внешнему многомерному трафику, сформулировать условия пропускания мультимедийных потоков при заданной системе маршрутов, а также оценивать влияние механизмов защиты на информационное окружение сети.

4. Методы и алгоритмы анализа процессов функционирования инфотелекоммуникационных транспортных систем, реализованных на технологиях IP-QoS и ATM, учитывающие специфику организации и обслуживания мультимедийных соединений и позволяющие оценивать функциональную эффективность указанных систем в численной и количественной форме на основе предложенных критериев с учетом «квантильной» постановки построения качественных показателей инфокоммуникационных услуг связи, что поднимает анализ инфокоммуникационных сетей на качественно новый научный уровень исследования и повышает степень использования пропускной способности трактов передачи многокомпонентным трафиком.

5. Инженерные методики и алгоритмы синтеза наиболее рационального варианта инфотелекоммуникационных транспортных систем, реализованных на технологиях IP-QoS и ATM, отличающиеся встроенной специальной процедурой «оптимизатор», позволяющей находить и отслеживать оптимум функции многих переменных в условиях смещения указанного оптимума. Разработанные алгоритмы, построенные на основе уточненных и развитых алгоритмах скользящего допуска и детохомии, решают задачу выбора ресурса минимальной пропускной способности систем в двойственной постановке с учетом механизмов защиты и заданных условий проектирования, что позволяет оценивать экономическую эффективность выбранного варианта.

Полученные научные и прикладные результаты позволяют решить актуальную задачу построения национальной защищенной инфокоммуникационной сети.

Основные научные положения, теоретические и практические исследования, выводы и рекомендации получены автором самостоятельно.

Публикации. Основные результаты диссертационной работы опубликованы в 83 печатных трудах, среди которых одна монография, 18 статей (из них 6 в соавторстве) опубликованы в изданиях, которые входят в перечень, рекомендованный ВАК РФ для докторских диссертаций: «Сети и системы связи», «Электросвязь», «Известия вузов. Приборостроение», «Известия вузов России, Радиоэлектроника», «Труды учебных заведений связи (СПбГУТ)» и др., материалы свыше 30 докладов в сборниках международных научных конференций.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы обсуждались и были одобрены более чем на 50 конференциях, в том числе: IV Всесоюзной технической конференции по повышению качества функционирования и надежности информационных сетей и их элементов «НИСЭ-81» (Новосибирск, 1981); Всесоюзной научно-технической конференции «Совершенствование средств автоматической коммутации в ЕАСС» (М., 1982); Третьей Всесоюзной конференции «Вычислительные сети коммутации пакетов» (Рига, 1983); Областном семинаре «Оптимизация архитектуры вычислительных сетей» (Куйбышев, 1983); XXII и XXIII НТК КЭИС (Куйбышев, 1983–1984); XXXVI и XXXVII НТК СПбГУТ (СПб., 1983–1984); V Всесоюзном симпозиуме по проблемам управления на сетях и узлах связи» (Москва-Винница, 1985); 2-й Международной конференции по информационным сетям и системам «КИС-93» (СПб., 1993); IV, VII, IX, X и XI Санкт-Петербургских международных конференциях «Региональная информатика» (СПб., 1995, 2000, 2004, 2006 и 2008); Санкт-Петербургской Международной конференции «Проблемы подготовки кадров в сфере инфокоммуникационных технологий» (СПб., 2005); II межрегиональной конференции «Информационная безопасность регионов России» (СПб., 2001); 54–61-й НТК СПбГУТ (СПб., 2002–2009); Восьмой Международной конференции по информационным сетям, системам и технологиям «МКИСиТ-2002» (СПб., 2002); Международном семинаре «Информационные сети, системы и технологии» (М., 2003); III Санкт-Петербургской межрегиональной конференции «ИБРР-03» (СПб., 2004); V Международ-

ном семинаре «Информационные сети, системы и технологии» (М., 2004); Первом Международном научном конгрессе «НЕЙРОБИОТЕЛЕКОМ-2004»: Инфокоммуникационные технологии и радиоэлектронные системы в медицине, нейробиологии и образовании (СПб., 2004); Третьем Международном научном конгрессе «НЕЙРОБИОТЕЛЕКОМ-2008» (СПб., 2008); V Международной конференции «Информационные сети, системы и технологии» (М., 2005); НПК «Проблемы подготовки кадров в сфере инфокоммуникационных технологий» СПбГУТ (СПб., 2005); Международной НМК «Роль инфокоммуникационных технологий в совершенствовании системы управления качеством образования» СПбГУТ (СПб., 2005); Международной научной конференции «МКИСиТ-2006» (СПб., 2006); МК «Математические методы повышения эффективности инфокоммуникационных сетей», (Гродно, Республика Беларусь, 2006).

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти разделов с выводами по каждому из них, заключения, списка литературы, включающего 251 наименование. Объем работы - 345 страниц, где представлены 112 рисунков, 33 таблицы и 11 приложений.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность решаемой научной проблемы, кратко изложены результаты анализа работ в области разработки моделей и методов анализа инфотелекоммуникационных транспортных систем, сформулированы цель исследования и основные требования к разрабатываемым моделям, методам и алгоритмам, определены научная новизна и практическая значимость работы, представлена краткая аннотация диссертации по разделам, дана оценка новизны, достоверности и практической ценности полученных результатов, сформулированы положения, выносимые на защиту.

Первый раздел содержит анализ процессов функционирования инфотелекоммуникационных транспортных систем на технологиях IP-QoS и ATM и формулирование сущности научной проблемы.

Проведен анализ эволюционного развития коммутационных технологий, применяемых для построения цифровых сетей с интеграцией служб. Проведенный анализ развития инфоуслуг и их востребованности в информационном обществе показывает, что создание и исследование инфотелекоммуникационных сетей - является актуальной проблемой. Определены объективные предпосылки создания инфотелекоммуникационных транспортных систем. Опираясь на результаты исследований отечественных и зарубежных ученых, а также результаты исследований автора, сделан вывод о том, что инфотелекоммуникационные сети будут строиться на базе пакетной коммутации. В России директивными документами рекомендованы пакетные технологии IP-QoS и ATM для построения соответственно региональных (зонавых) и магистральных компонент национальной инфотелекоммуникационной сети. В этой связи проведен подробный анализ и выявлены особенности их функционирования, что позволило сформулировать три базовых принципа построения инфокоммуникационных сетей: *принцип QoS-маршрутизации*, предполагающий наличие сетевой функции управления резервированием сетевых ресурсов, которая может быть реализована явно в виде сигнального протокола (RSVP, PNNI) или неявно в виде процедуры заключения трафик-контракта на соответствующий класс обслуживания CoS; *принцип масштабируемости сетевых ресурсов*, обеспечивающей введение сетевой функции контроля допустимости резервирования требуемых сетевых ресурсов на фазе установления мультимедийной сессии; *принцип «совмещения» мультимедийного трафика*, однозначно предписывающий наличие функции параметризации («окраски») многокомпонентных информационных потоков с целью обеспечения заданных QoS-норм обслуживания.

Утверждается, что все многообразие реализаций цифровых сетей с интеграцией служб, использующих различные методы коммутации, фактически характеризуются ис-

пользуемой в них транспортной системой, одной из специфических функций которой является функция «совмещения» трафика различной природы для обеспечения его переноса единым образом в общей физической среде. С целью систематизации описания и создания методик анализа инфотелекоммуникационных транспортных систем предложена их классификация по способу закрепления сетевых ресурсов за соединением в сессии, а именно: каналные инфотелекоммуникационные транспортные системы – со статическим или «жестким» закреплением сетевых ресурсов; пакетные инфотелекоммуникационные транспортные системы – с динамическим или «нежестким» закреплением сетевых ресурсов на коллективной основе, допускающих образование очередей при их распределении, и комбинированные или гибридные инфотелекоммуникационные транспортные системы, объединяющие свойства двух предыдущих типов. При этом применение конкретной стратегии должно быть исследовано на соответствующих моделях их функционирования с учетом заданных условий проектирования. Указаны два способа обеспечения изохронности переноса информации в инфотелекоммуникационных транспортных системах.

Исследованы характеристики мультимедийного трафика. Выявлено, что для аналитического исследования процессов предоставления инфокоммуникационных услуг весь циркулирующий трафик можно разбить по крайней мере на два класса в терминах ATM Forum: 1) трафик класса B , требует при переносе с переменной скоростью сохранения с заданной точностью заданного временного расположения элементов потока (или изохронности передачи) в масштабе реального времени (например, уплотненные видео-, цифровая речь) или трафик класса A , также требует поддержания изохронности при переносе с постоянной скоростью (неуплотненная аудио-, видеоинформация); 2) асинхронный трафик класса C , допускающий значительные задержки информации в сети и не требующий изохронной передачи (например, интерактивные данные).

Показано, что требования, предъявляемые к качеству обслуживания мультимедийного соединения, довольно противоречивы и определяются комбинацией различных классов трафика, необходимых для переноса приложений инфоуслуг.

Для дальнейших исследований формализована топология инфокоммуникационной сети в виде графа $G = (I, J)$, где I - множество вершин мощности $N = |I|$, $J \subseteq I \times I$ - множество ребер $ij \in J$. В графе $G = (I, J)$ выделяются две вершины $s \in I$ - источник и $t \in I$ - получатель и на нем строится связный подграф $G_{st} = (I_{st}, J_{st})$. Любая пара узлов может обмениваться многокомпонентной информацией в рамках предоставления единой инфокоммуникационной услуги связи. В работе исследуются процессы функционирования инфотелекоммуникационных систем с двухкомпонентной комбинацией речевого трафика (классов B или A) и трафика данных (класса C) в мультимедийных соединениях. Объемные величины каждой потоковой k -компоненты заданы в виде матриц $Y^k = \|\hat{a}_{st}^k\|$

для пары $st \in S^k$. Здесь k – обозначен класс трафика; \hat{a}_{st}^k – пропущенная нагрузка k -класса в направлении $st \in S^k$; $Y^k = \sum_{S^k} \hat{a}_{st}^k$; $\hat{a}_{st}^k = \frac{Mark^k}{3600 c} y^{multy} \cdot t^{multy} b^{multy}$ (Эрл); y^{multy} – интенсивность мультимедийных вызовов (вызов/час); t^{multy} – средняя длительность мультимедийного соединения, с; b^{multy} – заданные потери мультимедийного вызова; 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 k – го класса в составе мультимедийного терминала (бит/с); Q – общее количество мультимедийных терминалов. Суммарный объ-

ем мультимедийного трафика $Y^{multy} = \sum_k Y^k$. Все пары st , для которых $\hat{a}_{st}^k \neq 0$, образуют множество корреспондирующих пар S^k мощности $\Omega_{st} = |S^k|$. Каждое ребро графа $ij \in J$ моделирует межузловой линейно-цифровой тракт связи и ему поставлена в соответствие скорость передачи V_{ij} (бит/с). Для каждой пары $st \in S^k$ определено M_{st}^k альтернативных статических составных путей. Корневое дерево $R_{st}^k = \{\hat{l}_{st,m}^k, m = 1, M_{st}^k\}$, которое в общем случае может быть поддеревом дерева всех путей из узла s в узел t . Каждый m путь $\hat{l}_{st,m}^k = \{si_1, i_1i_2, \dots, i_{p-1}t\}_{st,m}^k$ длины p представляет множество упорядоченных ребер $l_{st,m}^k = \{ij \in J : ij \in \hat{l}_{st,m}^k\}$ относительно источника мощности $r_{st,m}^k = |l_{st,m}^k|$. В общем случае $\bigcap_{m=1}^{M_{st}^k} l_{st,m}^k \neq \emptyset$. Корневое дерево R_{st}^k лежит в основе построения последовательно-параллельной схемы путей L_{st}^k , моделирующих маршруты для переноса потоковых k -компонент мультимедийных соединений. Каждый пакет при его вводе в сеть с глобальной вероятностью $p_{st,m}^k$ направляется в m маршрут, выбранный на фазе установления соединения из множества L_{st}^k . Мультимедийный трафик для любой пары $st \in S^k$ может быть распределен в сессии по нескольким маршрутам в фиксированных во времени в определенных пропорциях, необязательно совпадающих для трафика различной природы. При этом предполагается, что маршруты передачи изохронного трафика независимы. Допускается также, что топология сети не изменяется и входные потоки стационарны.

Показано, что ключевое место при разработке и создании инфокоммуникационной сети занимает процесс ее анализа с учетом особенностей, связанных с противоречивыми требованиями к передаче мультимедийного трафика в общей физической среде, так как заказчика интересуют вероятностно-временные характеристики, реализуемые сетью, и способность обеспечить качественный перенос мультимедийного трафика заданной структуры и объемов в сессии. Сформулирована в общем виде задача анализа инфотелекоммуникационной транспортной системы (1): найти такой вектор параметров $\bar{x}_n^{k onm}$, что

$$\bar{x}_n^{k onm} = \arg \underset{\bar{x}^k \in X_{oon}^k}{extr} K^k(\bar{x}_n^k) \quad (1)$$

при $\bar{z}^k(\bar{x}_n^k) \in Z_{oon}^k$, $\bar{x}_n^k \in X_{oon}^k$. Здесь $K^k(\bar{x}_n^k)$ – критерий эффективности системы, экстремум которого необходимо обеспечить выбором соответствующего вектора параметров; $\bar{x}_n^k = (\bar{x}_n^{ITC}, \bar{x}_n^{PIIB})$, где \bar{x}_n^{ITC} , \bar{x}_n^{PIIB} – векторы параметров инфотелекоммуникационной транспортной системы и подсистемы безопасности соответственно; X_{oon}^k – множество допустимых значений параметров, включая параметры защиты; $\bar{z}_m^k(\bar{x}_n^k)$ – вектор показателей качества системы с учетом задействования механизмов защиты; Z_{oon}^k – множество допустимых значений показателей качества с учетом задействования механизмов защиты.

Сформулирован вывод, что методы анализа процессов предоставления инфокоммуникационных услуг связи должны быть интегрированы в рамках единых моделей с учетом специфики организации и обслуживания защищенного мультимедийного соединения. Установлено, что качество обслуживания мультимедийных соединений, предъявляет более жесткие требования к вероятностно-временным характеристикам сети.

Обоснованы качественные показатели пакетной инфотелекоммуникационной транспортной системы, учитывающие требования QoS-норм переноса мультимедийного трафика различной природы в процессе предоставления инфокоммуникационных услуг связи.

На фазе установления сессии – это допустимое значение вероятности потери мультимедийного вызова $b^{multy} = b(y^{multy})$. В режиме установленного соединения: для речевого трафика вводится ограничение на величину вероятности d^B превышения заданного времени

пребывания пакета в сети $\theta^B : P_r \{ t \geq \theta^B \} = \int_{\theta^B - T_{pac}^B}^{\infty} f_{st,m}^{Bp}(t) dt \leq d^B$. Показано, что она эквива-

лентна вероятности блокировки ресурса в пакетной сети, моделируемой СеМО с неограниченным накопителем в сеансе связи (здесь $f_{st,m}^{Bp}(t)$ – плотность распределения вероятности случайной задержки времени пребывания пакетов изохронного трафика класса B в составном маршруте $\widehat{l}_{st,m}^{Bp}$ тракта $st \in S^{Bp}$). Это связано со спецификой обслуживания любых изохронных информационных потоков. Для асинхронного трафика вводится ограничение на заданное среднее время пребывания пакета данных в составном маршруте $l_{st,m}^{Cp}$

тракта $st \in S^{Cp}$ - $T_{st,m}^{Cp} = \int_0^{\infty} t \varphi_{st,m}^{Cp}(t) dt \leq T^{Cp}$, не превосходящее предельной величины T^{Cp} , где

$\varphi_{st,m}^{Cp}(t)$ – плотность вероятности времени пребывания пакета данных в m – маршруте тракта $st \in S^{Cp}$. При более жестком нормировании качества переноса высокоскоростных потоков данных класса C , связанном с ограничением на долю потерянных и/или засланных не по адресу пакетов данных, предложено также применять «квантильную» постановку: $P_r \{ t \geq T^{Cp} \} = \int_{\theta^B - T_{pac}^{Cp}}^{\infty} f_{st,m}^{Cp}(t) dt \leq d^C$. Здесь $T_{pac}^{Bp} = \frac{L^{Bp} - H_{IP}}{v^B}$ и $T_{pac}^C = \frac{L^{Cp} - H_{IP}}{\omega^C}$ – время

накопления информационной части соответствующего пакета у абонента; H_{IP} - длина заголовка пакета, бит. Оценку уровня межпоточной синхронизации предложено измерять

коэффициентом межпоточного смещения $R_{skew} = \frac{d^{k1}}{d^{k2}} \leq const$, где d^{k1} и d^{k2} – заданный

уровень изохронности передачи потоков k -го класса. Выбранные качественные показатели адекватно отображают QoS-нормы переноса мультимедийного трафика в инфотелекоммуникационной транспортной системе при предоставлении инфокоммуникационной услуги связи.

Учитывая, что основным характеристическим показателем качества функционирования инфотелекоммуникационной транспортной системы в сессии (характеристической мерой) является степень использования ее физических ресурсов мультимедийным трафиком, предложено в качестве основополагающего методологического средства оценки функционирования системы использовать ее функциональную эффективность. Показано, что целевое назначение инфотелекоммуникационной транспортной системы однозначно предопределяет вид ее функционального критерия эффективности (целевой функции) K^k , который строится в виде общей числовой характеристики использования ресурса пропускной способности системы трафиком различных классов в рамках мультимедийного соединения. Суммарная номинальная пропускная способность линейно-цифровых трактов системы, необходимая для поддержания мультимедийных соединений, дается аддитивной формой $V_{ij}^{multy\ min} = \sum_k V_{ij}^{k\ min} = \sum_k K_{ij}^k V_{ij}^{k\ min}$. Указанный критерий фактиче-

ски определяет требуемую долю ресурса пропускной способности V_{ij} линейно-цифровых трактов системы, необходимую для переноса мультимедийных информационных потоков заданной структуры и объемов с заявленным качеством обслуживания в сессии. Он имеет четкий физический смысл, чувствителен к основным варьируемым параметрам системы, а также обеспечивает возможность сравнения различных вариантов построения и выбора наиболее рационального варианта при заданных условиях проектирования.

Проведен аналитический обзор работ, посвященных проблеме исследования за последние 30 лет. Сделан вывод, что известные подходы, модели и методы анализа цифровых сетей с интеграцией служб и их элементов не учитывают функциональной специфики инфокоммуникационных сетей, а также влияния услуг безопасности на их характеристики и ресурсы. Это препятствует построению национальной инфокоммуникационной сети и требует разработки адекватного математического аппарата для их анализа и синтеза.

Выявленное противоречие, позволило сформулировать проблемную ситуацию, которая подчеркивает необходимость обобщения и развития имеющихся результатов в области теории анализа цифровых сетей с интеграцией служб и важность выделенных проблем в плане развития экономики страны. Для разрешения этого противоречия поставлена целевая задача диссертационного исследования. Показано, что принципиальная разрешимость сформулированной проблемы базируется на возможности использования существующего математического аппарата, разработанного для анализа процессов функционирования цифровых сетей с интеграцией служб в рамках предоставления отдельных услуг для переноса трафика определенного класса.

В заключение сформулированы научные задачи, направленные на достижение поставленной цели диссертационного исследования.

Второй раздел посвящен разработке и обоснованию концептуальных основ решения научной проблемы.

Предложена абстрактная модель защищенной инфокоммуникационной сети, однозначно отражающая ее целеполагающую функцию в виде функциональной зависимости входных I^{*k} , внутренних (проектных) W^{*k} и выходных (целевых) параметров O^{*k} :

$$O^{*k} = f(I^{*k}, W^{*k}) \quad (2)$$

Выявлены особенности архитектуры инфотелекоммуникационной сети. Обоснованы и сформулированы основные принципы моделирования и анализа процессов функционирования инфотелекоммуникационных транспортных систем в режиме установленного соединения (*принцип функционально-структурной целостности*, предписывающий моделировать процессы функционирования и строить критерии эффективности инфотелекоммуникационных транспортных систем на основе моделей их архитектур; *принцип иерархии*, предписывающий проводить формализацию процессов функционирования и построение критериев эффективности систем с учетом параметров всех уровней моделей их архитектур, уровневой взаимообусловленности и соподчиненности, а также необходимых сетевых ресурсов для реализации уровневых логических соединений; *принцип единственности*, предписывающий проводить анализ функционирования систем на основе поэтапной оптимизации разработанных комплексных критериев эффективности использования сетевых ресурсов мультимедийным трафиком с учетом их условной зависимости и требуемого качества инфокоммуникационной услуги связи). В рамках «архитектурного» подхода эффективность инфотелекоммуникационной транспортной системы предлагается оценивать с помощью набора уровневых функционалов $K_{h,ij}^k$, которые определяют требуемую долю пропускной способности V_{ij} для организации логических соединений, поддерживающих мультимедийное соединение, и позволяют оценить степень использования ресурса ее пропускной способности трафиком k -го класса применительно к каждой паре «источник-получатель». При этом указанные функционалы учитывают не только избыточность уровневых примитивов, вносимую служебной информацией соответствующих объемов, но и модели протоколов функционирования отдельных уровней архитектуры системы, поддерживающих соответствующие службы.

Общесетевой комплексный критерий эффективности строится в предположении независимости уровней логической структуры моделей сетевых архитектур и дается выражением

$$K^k = r^k \sqrt{\frac{\widehat{a}_{st}^k}{Y^{malty}}} (K_{st}^k)^{r^k}, \quad r^k = |S^k|, \quad (3)$$

где $K_{st}^k = \sum_{m=1}^{M_{st}^k} p_{st,m}^k K_T^k r_{st,m}^k \sqrt{\prod_{ij \in l_{st,m}^k} K_{ij}^k}$, $r_{st,m}^k = |l_{st,m}^k|$; $K_{ij}^k = \prod_h K_{h,ij}^k$; K_T^k – соответственно критерии

эффективности сквозных трактов, межузловых трактов и транспортного логического соединения. Выражение (3) представляет системную модель инфотелекоммуникационной системы в общем виде. Модели процессов предоставления инфокоммуникационных услуг связи предложено строить в виде комплекса взаимоувязанных моделей уровневых логических соединений, поддерживающих мультимедийные соединения в сессии. Последние представлены в виде функциональных зависимостей пропускной способности $V_{ij,h}^k$, необходимой для организации соответствующего логического соединения для переноса трафика соответствующего класса в мультимедийном сеансе связи, от уровневых критериев эффективности $K_{h,ij}^k$ и пропускной способности линейно-цифровых трактов V_{ij} :

$$V_{ij,h}^k = V_{ij} K_{h,ij}^k. \quad (4)$$

Сформулирована в общем виде задача анализа инфотелекоммуникационной транспортной системы в терминах критериев эффективности K^k в режиме мультимедийной сессии как последовательность двух задач оптимизации.

Проведен анализ и выявлены особенности функционально-структурной организации инфотелекоммуникационных транспортных систем, реализованных на технологиях IP-QoS и ATM. Предложено механизмы защиты, реализующие услуги безопасности в рамках связанных протоколов моделировать системами массового обслуживания с протокольной услугой безопасности, а в рамках отдельных процедур, – системами массового обслуживания с самостоятельной услугой безопасности. Показано, что в дополнение к функции «совмещения» – основной отличительной функцией любой цифровой сети с интеграцией служб – в инфокоммуникационной сети реализованы две дополнительных функции: функция «управления резервированием сетевых ресурсов» и функция «контроля допустимости установления соединения». Это связано со спецификой организации мультимедийных соединений. В этой связи уточнена модель сетевой архитектуры DARPA.

Используя предложенные выше общие принципы моделирования осуществлена функциональная формализация уровневых и комплексных критериев эффективности инфотелекоммуникационных транспортных систем на основе моделей сетевых архитектур IP-QoS и ATM. В предположении независимости логических уровней модели сетевой архитектуры DRPA выведены выражения для комплексных критериев эффективности использования ресурса пропускной способности линейно-цифровых трактов соответственно трафиками классов B и C в режиме установленного соединения:

$$K_{ij}^{Bp} = \frac{S^{Bp} \rho_{ij}^{*Bp} (L^{*Bp}, \rho_{ij}^{*Bp})}{N^{Bp} (L^{*Bp} + H_{NA})}; \quad K_{ij}^{Cp} = \frac{S^{Cp} \rho_{ij}^{*Cp} (L^{*Bp}, L^{*Cp}, T^{*Cp}, \rho_{ij}^{*Bp}, \rho_{ij}^{*Cp})}{N^{Cp} (L^{*Cp} + H_{NA})}. \quad (5)$$

Здесь ρ_{ij}^{*k} – загрузка линейно-цифровых межузловых трактов пакетами соответствующего класса с учетом потоковой избыточности, вносимой трафиком безопасности; L^{*k} – длина пакета соответствующего класса трафика с учетом протокольной избыточности через, вносимой на стороне источника механизмами аутентификации и/или целостности; T_{ij}^{*Cp} – среднее время пребывания пакета данных класса C в линейно-цифровом тракте с учетом

временной избыточности, вносимой соответствующими механизмами защиты; H_{NA} - длина заголовка уровневого примитива сетевого доступа, бит.

В третьем разделе строятся аналитические модели процессов предоставления инфокоммуникационных услуг связи, критериев качества и критериев эффективности неоднородных и однородных незащищенных и защищенных инфотелекоммуникационных транспортных систем, реализованных на технологиях IP-QoS и ATM, в режиме установленной сессии на основе принципов, сформулированных в разделе 2.

При построении моделей транспортных логических соединений системы на технологии IP-QoS получены в общем виде явные функциональные зависимости для вычисления среднего числа информационных полей пакета в активном речевом фрагменте N^{Bp} и в сообщении данных N^{Cp} на транспортном уровне.

Доказано утверждение, что для любых законов распределения длительностей активных речевых фрагментов $F^{Bp}(t)$ и длин сообщений данных $F^{Cp}(l)$ эти функциональные зависимости имеют следующий вид
$$N^{Bp} = \sum_{k=1}^{\infty} k \left[F^{Bp} \left(\frac{L^{Bp} - H_{IP}}{v^B} k \right) - F^{Bp} \left(\frac{L^{Bp} - H_{IP}}{v^B} (k-1) \right) \right],$$

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

длина речевого пакета и пакета данных, бит; H_{IP} - длина заголовка IP-пакета, бит.

Доказана лемма, что для произвольных законов распределения длительностей активных речевых фрагментов $F^{Bp}(t)$ или длин сообщений данных $F^{Cp}(l)$ на транспортном уровне, в предположении, что длины сообщений данных и речевых фрагментов $s^k \rightarrow \infty$, отношения $\frac{s^{Bp}}{N^{Bp}} \rightarrow L^{Bp} - H_{IP}$ и $\frac{s^{Cp}}{N^{Cp}} \rightarrow L^{Cp} - H_{IP}$ (где $s^{Cp} = \int_0^{\infty} l dF^{Cp}(l)$, $s^{Bp} = \tau^{Bp} v^{Bp} = \int_0^{\infty} t dF^{Bp}(t)$).

Это существенно упрощает процедуры вычислений уровневых критериев эффективности и может применяться на ранних этапах проектирования сети для оценочных расчетов в условиях недостаточности исходных данных. В случае если длительности сообщений рас-

пределены экспоненциально с параметром $1/s^k$ отношение $\frac{s^{kp}}{N^{kp}} = s^{kp} \left(1 - e^{-\frac{L^{kp} - H_{IP}}{s^{kp}}} \right)$. Пока-

зано, что в инфокоммуникационных сетях общего пользования из-за различия в требованиях к QoS-норм переноса речевого трафика и трафика данных, обслуживание речевых пакетов в системе в режиме установленного мультимедийного соединения должно осуществляться с абсолютным приоритетом по отношению к пакетам данных. Разработаны аналитические модели логических соединений межсетевого уровня архитектуры инфотелекоммуникационной транспортной системы на технологии IP QoS в полной сетевой постановке в классе многофазовых СеМО типа $M/M/1/\infty$ с учетом специфики его протокольной организации, в предположении, что суммарные потоки от всех источников на входе каждого линейно-цифрового тракта независимы друг от друга и являются простейшими, а внутри сети отсутствует корреляция между длиной пакетов и временными интервалами между их прибытием. С учетом введенных допущений построены в явном виде комплексные критерии эффективности оценки использования сетевого ресурса составных сквозных трактов передачи $st \in S^k$ k - компонентами мультимедийного соединения:

$$K_{st}^{Bp} = \frac{L^{Bp} - H_{IP}}{L^{Bp} + H_{NA}} \sum_{m=1}^{M_{st}^{Bp}} P_{st,m}^{Bp} r_{st,m}^{Bp} \sqrt{\prod_{ij \in I_{st,m}^B} \frac{(L^{Bp} + H_{NA}) \bar{a}_{ij}^{Bp} v^{Bp} \eta^B z^B}{(L^{Bp} - H_{IP}) V_{ij}}}; \quad (6)$$

$$K_{st}^{Cp} = \frac{L^{Cp} - H_{IP}}{L^{Cp} + H_{NA}} \sum_{m=1}^{M_{st}^{Cp}} P_{st,m}^{Cp} \sqrt{\prod_{ij \in I_{st,m}^{Cp}} \left(1 - \rho_{ij}^{Bp} - \frac{L^{Cp} + H_{NA}}{V_{ij} T_{ij}^{Cp}} + \frac{\rho_{ij}^{Bp}}{1 - \rho_{ij}^{Bp}} \frac{L^{Bp} + H_{NA}}{V_{ij} T_{ij}^{Cp}} \right)} \left(-\frac{p_0}{1 - p_0} \ln p_0 \right). \quad (7)$$

Здесь p_0 - вероятность отсутствия ошибок в уровне примитива сетевого доступа (кадра) длины $L^{Cp} + H_{NA}$, бит; η^B - коэффициент снижения загрузки транспортного канала речевыми пакетами за счет использования пауз; z^B - коэффициент сжатия речевого сигнала. В предположении независимости появления ошибок в дискретном тракте $st \in S^{Cp}$ и что число переспрашиваемых поврежденных кадров подчинено геометрическому распределению, коэффициентом $\beta^{Cp} = -\frac{p_0}{1 - p_0} \ln p_0$ оценивается влияние процедуры организации решающей обратной связи для повторной их передачи. Для биномиального тракта $st \in S^{Cp}$ с вероятностью ошибки равной p вероятность $p_0 = (1 - p)^{L^{Cp} + H_{NA}}$.

Разработаны аналитические модели логических соединений однородных пакетных (в них циркулирующий речевой трафик и трафик данных соответственно обозначается индексами B_g^p и C_g^p) и гибридных (в них циркулирующий речевой трафик и трафик данных соответственно обозначается индексами A и Cg) инфотелекоммуникационных транспортных систем с учетом специфики протокольной организации уровней их архитектуры. Аналитические модели логических соединений уровня АТМ однородной пакетной системы представлены в виде моделей «типового» для сети мультимедийного виртуального составного n -звенного тракта, полученные в классе многофазовых СМО типа $M/M/1/\infty$. С учетом выполнения введенных выше предположений и допущений максимальный коэффициент загрузки однородного тракта речевыми пакетами

$$\rho_{st}^{B_g^p \max} = 1 - \frac{z}{\zeta}, \quad (8)$$

где $\zeta = \left[\frac{\theta_{st}^B V}{L^{B_g^p} + H_{ATM}} - \frac{L^{B_g^p} - H_{SAR}^{VBR}}{L^{B_g^p} + H_{ATM}} \frac{V}{v^B} \right]$; H_{ATM} - длина заголовка уровня примитива

АТМ, бит; H_{SAR}^{VBR} - длина заголовка примитива подуровня сборки/разборки службы, поддерживающей переменную битовую скорость переноса в реальном времени VBR_{rt} , бит; V - скорость в однородном межузловом тракте, бит/с; z - корень трансцендентного уравнения $\frac{1}{(n-1)!} z^{n-1} + \frac{1}{(n-2)!} z^{n-2} + \dots + \frac{1}{1!} z + 1 = d^B e^z$. Показано, что речевой трафик в системе может быть обслужен с заданным качеством при условии $-\ln d^B \leq \zeta - \ln \sum_{k=0}^{n-1} \frac{\zeta^k}{k!}$.

Для трафика данных коэффициент загрузки однородного тракта

$$\rho_{st}^{C_g^p} = 1 - \rho_{st}^{B_g^p \max} - \left[\frac{L^{B_g^p} + H_{ATM}}{T_{st,m}^{C_g^p} - \frac{L^{C_g^p} - H_{SAR}^{ABR}}{\omega^C}} \right] \frac{n}{(1 - \rho_{st}^{B_g^p \max}) V}. \quad (9)$$

Здесь H_{SAR}^{ABR} - длина заголовка примитива подуровня сборки/разборки службы, поддерживающей доступную битовую скорость переноса ABR , бит. Показано, что расчет параметров СBR-соединений для трафика класса A с «квазистационарным» закреплением

сетевых ресурсов в системе на технологии АТМ эквивалентен расчету параметров полнодоступного пучка TDM-каналов при условии абсолютного приоритета его обслуживания по отношению трафика данных класса C .

С учетом моделей уровневых логических соединений и введенных предположений построены в явном виде комплексные критерии эффективности:

а) для пакетной системы

$$K_{st}^{C_g^p} = \frac{L^{C_g^p} - H_{SAR}^{ABR}}{L^{C_g^p} + H_{ATM}} \left(1 - \rho_{st}^{B_g^p} - \left[\frac{L^{C_g^p} + H_{ATM}}{T_{st,m}^{C_g^p} - T_{pac}^C} \right] \frac{n}{(1 - \rho_{st}^{B_g^p})V} \right) \left(-\frac{p_0}{1 - p_0} \ln p_0 \right); \quad (10)$$

$$K_{st}^{B_g^p} = \frac{L^{B_g^p} - H_{SAR}^{VBR}}{L^{B_g^p} + H_{ATM}} \left(1 - \frac{z(L^{B_g^p} + H_{ATM})v^B}{v^B \theta^B - (L^{B_g^p} - H_{SAR}^{VBR})} \frac{1}{V} \right). \quad (11)$$

б) для гибридной системы

$$K_{st}^A = \frac{v^A \int_0^{\infty} t dF^A(t)}{\sum_{k=1}^{\infty} k \left[F^A \left(\frac{L^A - H_{SAR}^{CBR}}{v^A} k \right) - F^A \left(\frac{L^A - H_{SAR}^{CBR}}{v^A} (k-1) \right) \right]} \frac{1}{L^A + H_{ATM}}, \quad (12)$$

$$K_{st}^{C_g} = \frac{L^{C_g} - H_{SAR}^{ABR}}{L^{C_g} + H_{ATM}} \left(1 - n \frac{L^{C_g} + H_{ATM}}{(T_{st}^{C_g} - \frac{L^{C_g} - H_{SAR}^{ABR}}{\omega^C})V^{\varnothing}} \right) \left(-\frac{p_0}{1 - p_0} \ln p_0 \right), \quad (13)$$

где H_{SAR}^{CBR} - длина заголовка примитива подуровня сборки/разборки службы, поддерживающей постоянную битовую скорость переноса CBR , бит; $F^A(t)$ – распределение продолжительности речевого фрагмента во времени,

$$V^{\varnothing} = \frac{L^A}{L^A + H_{ATM}} V - v^A \hat{a}_{st}^A. \quad (14)$$

Определены аналитические зависимости критериев качества обслуживания речевых пакетов от вектора параметров для трафика класса B в пакетной АТМ-системе в виде

$(1 - F_{st}^{B_g^p}(\theta^B)) \leq d^B$, $\forall st \in S^{B_g^p} : a_{st}^{B_g^p} \neq 0$, а ограничение на заданное среднее время достав-

ки в сеансе связи $T_{st}^{C_g^p}$ ячеек данных класса C дается выражением

$$T_{st}^{C_g^p} = \sum_{ij \in I_{st,m}^{C_g^p}} T_{ij}^{C_g^p} + \sum_{\forall j: ij \in I_{st,m}^{C_g^p}} T_j^{C_g^p} - \frac{L^{C_g^p} - H_{SAR}^{ABR}}{\omega^C} \leq T^{C_g^p}, \text{ где } \sum_{ij \in I_{st,m}^{C_g^p}} T_{ij}^{C_g^p} = n \int_0^{\infty} t \varphi_{ij}^{C_g^p}(t) dt, \forall ij \in I_{st,m}^{C_g^p}; \sum_{\forall j: ij \in I_{st,m}^{C_g^p}} T_j^{C_g^p} =$$

$(1+n)T_J^{C_g^p}$, $\forall J : ij \in I_{st,m}^{C_g^p}$. Здесь $T_{ij}^{C_g^p} = \int_0^{\infty} t \varphi_{ij}^{C_g^p}(t) dt$, $T_i^{C_g^p}$ – соответственно среднее время пре-

бывания пакета в линейно-цифровом тракте и среднее время обработки пакета в маршрутизаторе; $\varphi_{ij}^{C_g^p}(t)$ – плотность вероятности времени пребывания пакета данных класса C в линейно-цифровом тракте. В гибридной АТМ-системе для трафика класса A в качестве основного ограничения выступает только заданная вероятность потерь по вызовам b^{multy}

на фазе установления мультимедийных соединений. Ограничение на заданное среднее время доставки в сеансе связи T_{st}^{Cp} ячеек данных класса C аналогично пакетной системе на технологии IP-QoS.

Предложена реализация базовых услуг безопасности применительно к инфотелекоммуникационной транспортной системе на технологии IP-QoS. Разработаны аналитические модели процессов задействования механизмов защиты. Показано, что задействование механизмов защиты в сессии вносит дополнительные потоковые («Шифрование», «Аутентификация», «Контроль целостности», «Заполнение потока»), временные («Шифрование», «Аутентификация», «Контроль целостности») и протокольные издержки («Контроль целостности») в информационное окружение сети и приводит к ухудшению ее характеристик. Предложено в моделях защищенных логических соединений процедуру восстановления блоков данных при реализации базовой услуги «Целостность», связанную с организацией обратной связи, учитывать соответствующим функционалом $S_{Integr}^{*Cp} = f(L^{*Cp}, p^{KOM})$, где p^{KOM} вероятность обнаружения нарушения целостности пакета с помощью механизмов кодов обнаружения модификаций (КОМ), которая в свою очередь зависит от модели нарушителя в сети. Если пользователь производит повторную попытку передачи пакета при обнаружении нарушения целостности на транзитном маршрутизаторе с вероятностью p^{KOM} , то суммарную интенсивность передачи пакетов данных в направлении $st \in S^C$ да-

ется выражением $\lambda_{st}^{*Cp} = \frac{\lambda_{st}^{Cp}}{1 - p^{KOM}}$, где λ_{st}^{Cp} – интенсивность поступления информационных

пакетов данных класса C в тракт $st \in S^{Cp}$ в сессии. В этом случае интенсивность суммарной нагрузки на звене $ij \in \hat{l}_{st,m}^{Cp}$ тракта $st \in S^{Cp}$ легко вычислить по формуле:

$$\lambda_{ij}^{*Cp} = \left(\sum_{st \in M_{st}^C} \frac{\hat{\alpha}_{ij}^{Cp}}{Y_{ij}^{Cp}} \frac{1}{\lambda_{st}^{*Cp}} \right)^{-1} = \begin{cases} \hat{\alpha}_{ij}^{*C} & ij \in l_{st,m}^{Cp} \\ 0 & ij \notin l_{st,m}^{Cp} \end{cases}$$
, где $\hat{\alpha}_{ij}^{Cp} = \sum_{st \in S^{Cp}} \sum_{m=1}^{M_{st}^{Cp}} p_{st,m}^{Cp} \hat{\alpha}_{st}^{Cp}$ – пропущенная нагрузка данных на звене $ij \in l_{st}^{Cp}$, создаваемой парой $st \in S^{Cp}$, а значение λ_{ij}^{Cp} в коэффициентах загрузки межзвонных трактов ρ_{ij}^{*Cp} должно быть заменено на значение λ_{ij}^{*Cp} .

Процесс распределения ключевой информации в симметричной криптосистеме порождает дополнительный поток безопасности ρ_{ij}^{Ke} , который внутри полосы пропускания трактов сети может быть обслужен с низшим приоритетом в пакетной системе.

В этом случае загрузка ρ_{ij}^{Ke} межзвонного тракта $ij \in J$, моделируемого в сессии СМО типа $M/M/1$, трафиком безопасности с учетом, что все предположения и ограничения, введенные выше сохраняются, определяется как:

$$\rho_{ij}^{Ke} = 1 - \rho_{ij}^{Bp} - \rho_{ij}^{Cp} \left[(L^{Ke} + H_{NA}) + (L^{Cp} + H_{NA}) \frac{\rho_{ij}^{Cp}}{1 - \rho_{ij}^{Bp} - \rho_{ij}^{Cp}} + (L_{IP}^{Bp} + H_{NA}) \frac{\rho_{ij}^{Bp}}{1 - \rho_{ij}^{Bp} - \rho_{ij}^{Cp}} \right] \times \frac{1}{T_{ij}^{Ke} V_{ij}}, \quad (15)$$

где T_{ij}^{Ke} – среднее время пребывания ключевого пакета в линейно-цифровом тракте $ij \in J$, с. Модели распространения ключевого трафика КОМ строятся по аналогии моделей симметричных криптосистем.

Предложено потоковую избыточность ρ_{ij}^{aym} , порождаемую в системе процессами аутентификации пользователей и/или открытых ключей, в двухключевой криптосистеме при создании общего (разделяемого) сеансового секрета при условии, что распределение длин

пакетов базового трафика класса C и пакетов трафика безопасности показательное с параметром $\frac{1}{\mu^{Cp}}$ учитывать через коэффициент загрузки системы

$$\rho_{ij}^{*Cp} = (1 - \rho_{ij}^{*Bp} - \rho_{ij}^{aym} - \frac{L^{*Cp} + H_{NI}}{T_{ij}^{*Cp} V_{ij}} - \frac{\rho_{ij}^{*Bp}}{1 - \rho_{ij}^{*Bp}} \frac{L^{*Bp} + H_{NI}}{T_{ij}^{*Cp} V_{ij}}) S_{Integr}^{*Cp}, \quad (16)$$

где $\rho_{ij}^{k,aym} = \sum_{st \in S^k} \sum_{m=1}^{M_{st}^k} \frac{\lambda_{ij}^{k,aym}}{\mu_{ij}^k}$, $\lambda_{ij}^{k,aym}$ – удельная интенсивность служебных пакетов аутентификации, поступающих в линейно-цифровой тракт ij , пакет/с;

$T_{st}^{*Cp} = \sum_{m=1}^{M_{st}^{Cp}} P_{st,m}^{Cp} \left(\sum_{ij \in I_{st,m}^{Cp}} T_{ij}^{Cp} + \sum_{\forall j: ij \in I_{st,m}^{Cp}} T_j^{Cp} \right) - \frac{L^{Cp} - H_{IP}}{\omega^C} - t_{y6}^*$ (индексом (*) в выражении t_{y6}^* обозначен тип механизма защиты).

Методика оценка влияния механизмов обеспечения контроля доступа на характеристики защищенной пакетной инфотелекоммуникационной транспортной системы базируется на моделях заедействования механизмов аутентификации.

Установлено, что дополнительное время t_{y6}^* , вносимое в процесс переноса пакетов в системе механизмами защиты «Шифрование», «Аутентификация» и «Контроль целостности» для туннельного и транспортных режимов, связано а) с проведением криптографических процедур на стороне отправитель/получатель» и б) с вычислением защитных контрольных сумм или КОМ на транзитных узлах маршрута переноса. Последние являются функциями передаваемых сообщений данных или речевых фрагментов и могут вычисляться с использованием шифрования (ключевые хеш-функции, ЭЦП, защищенные имитовставки) или без него (безключевые хеш-функции, контрольные суммы CRC и коды аутентификации (подлинности) сообщений (Message Authentication Code, MAC), известные также как коды проверки аутентификации данных (Data Authentication Code, DAC)). Показано, что процессы формирования/проверки КОМ и криптографические процедуры формализуются СМО с услугами безопасности и представляются соответствующими аддитивными формами, а протокольная избыточность, вносимая механизмами защиты на базе КОМ, учитывается в моделях логических соединений путем увеличения длины отдельных уровневых примитивов на величину соответствующих значений $H_{КОМ}$. При этом длина уровневого примитива сетевого доступа дается выражением $L^{*Cp} = L^{Cp} + H_{NA} + H^{КОМ}$. Коэффициенты загрузки линейно-цифровых трактов речевым трафиком с учетом механизмов КОМ имеют вид

$$\hat{\rho}_{ij}^{*Bp} = \frac{L^{*Ba} + H_{NA}}{L^{*Ba} - H_{IP}} \frac{v^{Ba}}{V_{ij}} \hat{a}_{ij}^{Ba} z^{Ba} \eta^{Ba}. \quad (17)$$

Разработаны аналитические модели защищенных логических соединений, формализующих процессы переноса мультимедийных объектов в защищенной инфотелекоммуникационной транспортной системе, реализованной на технологии IP-QoS, а также модели качественных показателей и комплексные критерии эффективности с учетом временной, протокольной и потоковой избыточности, вносимой механизмами защиты в информационное окружение сети.

С учетом введенных допущений построены в явном виде комплексные критерии эффективности оценки использования сетевого ресурса защищенных мультимедийных со-

единений разнородным трафиком при организации сквозных трактов $\hat{l}_{st,m}^{kp}$ длины p с учетом использования механизмов целостности, аутентификации и шифрования:

$$K^{*Bp} = \sqrt[r]{\sum_{st \in S^{Cp}} \frac{\hat{a}_{st}^{Bp}}{\gamma^{multy}} \left[\frac{L^{*Bp} - H_{IP}}{L^{*Bp} + H_{NA}} \sum_{m=1}^{M_{st}^{Bp}} p_{st,m}^{Bp} \prod_{ij \in l_{st,m}^{Bp}} \left(\frac{L^{*Bp} + H_{NI}}{L^{*Bp} - H_{IP}} \frac{V^B}{V_{ij}} \hat{a}_{ij}^{Bp} z^{Bp} \gamma^{Bp} \right)^p \right]}, \quad (18)$$

$$K^{*Cp} = \sqrt[r]{\sum_{st \in S^{Cp}} \frac{\hat{a}_{st}^{*Cp}}{\gamma^{multy}} \left[\beta_{st}^{Cp} \frac{L^{*Cp} - H_{IP}}{L^{*Cp} + H_{NA}} \sum_{m=1}^{M_{st}^{Cp}} p_{st,m}^{Cp} \prod_{ij \in l_{st,m}^{Cp}} \left((1 - \rho_{ij}^{*Bp} - \rho_{ij}^{*aym}) \frac{L^{*Cp} + H_{NI}}{T_{ij}^{*Cp} V_{ij}} \frac{\rho_{ij}^{*Bp}}{1 - \rho_{ij}^{*Bp}} \frac{L^{*Bp} + H_{NI}}{T_{ij}^{*Cp} V_{ij}} \right) S_{Integr}^{*Cp} \right]}, \quad (19)$$

$r = \lfloor l_{st,m}^{kp} \rfloor$. Определены аналитические зависимости критериев качества обслуживания речевых пакетов $\sum_{m=1}^{M_{st}^{Cp}} p_{st,m}^{Cp} (1 - F_{st,m}^{Bp}(\theta^{*B})) = \sum_{m=1}^{M_{st}^{Cp}} p_{st,m}^{Cp} \int_{\theta^{*B}}^{\infty} f_{st,m}^{Bp}(t) dt \leq d^B$, $\forall st \in S^B : \hat{a}_{st}^B \neq 0$ и пакетов данных $T_{st}^{*Cp} \leq T^{Cp}$ (или при «квантильном» построении качественных показателей – $\sum_{m=1}^{M_{st}^{Cp}} p_{st,m}^{Cp} (1 - F_{st,m}^{Cp}(T^{*Cp})) \leq d^{Cp}$) от векторов параметров в защищенной IP-QoS-системе. Здесь $F_{st,m}^{Bp}(\theta^{*B})$ или $F_{st,m}^{Cp}(T^{*Cp})$ – квантили распределения времени пребывания речевого пакета или пакета данных в m - маршруте из множества $L_{st}^{Bp} (L_{st}^{Cp})$ для пары $st \in S^{Bp} (S^{Cp})$; $\theta^{*B} = \theta^B - \frac{L^{Bp} - H_{IP}}{V^B} - t_{y6}^*$; \hat{a}_{ij}^{*Cp} – величина пропущенной нагрузки класса C на звене $ij \in l_{st,m}^{Cp}$ с учетом трафика безопасности.

В четвертом разделе на основе построенных моделей процессов переноса мультимедийных объектов в рамках единой универсальной услуги связи разработаны методы и алгоритмы анализа защищенной неоднородной инфотелекоммуникационной транспортной системы, реализованной на технологии IP-QoS, и однородных пакетных и гибридных инфотелекоммуникационных транспортных систем, построенных на технологии ATM-SIF, в режиме установленной мультимедийной сессии.

Задачи анализа процессов функционирования неоднородной защищенной инфотелекоммуникационной транспортной системы, реализованной на технологии IP-QoS, сформулированы для всей сети с учетом условной зависимости критериев K^{*Bp} (18) и K^{*Cp} (19), которые максимизируются для всех $st \in S^k$, имеющих ненулевые потоки.

1. При заданной топологии сети, структуре мультимедийных потоков и заданной системе маршрутов найти значения ρ_{ij}^{*Bp} и L^{*Bp} , доставляющих максимум функционалу

$$\arg \max K^{*Bp}(\rho_{ij}^{*Bp}, L^{*Bp}) \quad (20)$$

при условиях $b_{ij} \leq b^{multy}$,

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

$$L^{Bp} < \theta_{st}^{Bp} V^{Bp} - H_{IP},$$

$$0 \leq \rho_{ij}^{Bp} < 1, \forall st \in S^B : a_{st}^{Bp} \neq 0. \quad (21)$$

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

$$\arg \max K^{Cp}(\rho_{ij}^{*Cp}, L^{*Cp} | \rho_{ij}^{*Bp \max}, L_{opt}^{*Bp}) \quad (22)$$

$$r^{Cp} = \left| l_{st,m}^{Cp} \right|, \text{ при ограничениях}$$

$$b_{ij} \leq b^{multy},$$

$$T_{st}^{*Cp} \leq T^{Cp} \text{ или}$$

$$\sum_{m=1}^{M_{st}^C} p_{st,m}^{Cp} (1 - F_{st,m}^{Cp}(T^{*Cp})) \leq d^{Cp}, \quad \forall st \in S^C : a_{st}^C \neq 0 \quad (23)$$

и все параметры первой задачи найдены и фиксированы.

Указанные задачи оптимизации относятся к классу задач нелинейного программирования с нелинейными ограничениями типа неравенств, которые решаются многомерным методом скользящего допуска, реализующего процедуру поиска оптимума на основе вычисления только значений целевой функции. Расчет ограничений в поставленной задаче представляет самостоятельный интерес. Приводятся методики вычисления квантилей $F_{st,m}^{Bp}(\theta^{*B})$ в предположении, что процессы переноса и обслуживания мультимедийного трафика в каждом линейно-цифровом тракте маршрута и маршрутизаторах моделируются многофазными СМО типа $M/M/1/\infty$ с учетом введенных выше допущений.

Определены условия пропускания разнородного трафика, которые формируются как результат сравнения допустимых загрузок инфотелекоммуникационных транспортных систем речевыми пакетами и пакетами данных при заданной системе маршрутов и требованиях на передачу, и загрузок, получающихся из матриц объемов входных многокомпонентных потоков при той же системе маршрутизации в предположении стационарности их соотношения между узлами. Условие пропускания заданных объемов речевого трафика и трафика данных через систему формируется в виде двух неравенств:

$$\frac{L^{*Bp} + H_{NA}}{L^{*Bp} - H_{IP}} \frac{v^{Bp}}{V_{ij}} \widehat{a}_{ij}^{Bp} z^{Bp} \eta^{Bp} \leq \rho_{ij}^{*Bp \max}, \quad (24)$$

$$a_{ij}^{*Cp} \Theta^{\min} \leq V_{ij} \frac{L^{*Cp} - H_{IP}}{L^{*Cp} + H_{NA}} (1 - \rho_{ij}^{*Bp} - \rho_{ij}^{aym} - \frac{L^{*Cp} + H_{NI}}{T_{ij}^{*Cp} V_{ij}} - \frac{\rho_{ij}^{*Bp}}{1 - \rho_{ij}^{*Bp}} \frac{L^{*Bp} + H_{NI}}{T_{ij}^{*Cp} V_{ij}}) S_{Integr}^{*C}, \quad (25)$$

Предложен на основе алгоритма скользящего допуска алгоритм анализа процессов переноса мультимедийной информации в рамках инфокоммуникационной услуги связи в неоднородной защищенной инфотелекоммуникационной транспортной системе, реализованной на технологии IP-QoS. Указанный алгоритм решает задачу анализа в двойственной постановке с учетом вычисления ограничений на качественные показатели переноса мультимедийного трафика в сессии. Результатами решения задачи анализа являются оптимальные длины речевых пакетов и пакетов данных, а также максимально допустимые загрузки межузловых линейно-цифровых трактов передачи многокомпонентными информационными потоками. Приведены фрагменты интерфейса разработанной экспертной системы и результаты анализа неоднородной инфотелекоммуникационной транспортной системы, реализованной на технологии IP-QoS, а также алгоритмы машинного вычисления сквозных задержек в сети. Показано, что для речевого трафика система критична к длине пакета, интенсивности его поступления, скорости передачи информации в межузловом тракте, числу звеньев, составляющих виртуальный канал.

Анализ процессов переноса мультимедийной информации в однородных пакетных и гибридных инфотелекоммуникационных транспортных системах проведен на примере технологии ATM-CIF, которая позволяет использовать один ATM-заголовок на несколько ячеек, формируя как бы один фрейм переменной длины (рисунок 2). Функция формирования ячейки переменной длины может быть реализована либо на логическом уровне ATM базовой модели архитектуры протокола В-ISDN, либо на дополнительном подуровне сборки/разборки фреймов, расположенном ниже уровня ATM. В связи с этим возникает возможность оптимизации критериев эффективности ATM-системы по переменной оптимизации – длине фреймов ячеек классов $B(A)$ и C на подуровне CIF - $l_{optCIF}^{B_g^p}$, $l_{optCIF}^{C_g^p}$ и l_{optCIF}^A , $l_{optCIF}^{C_g}$. Задачи анализа формулируются соответственно в виде двух задач параметрической оптимизации для каждой из систем применительно к новым условиям формирования ячейки переменной длины. При этом в формулах (10), (11) и (12), (13) величины $L^{B_g^p}$, $L^{C_g^p}$ и L^A , L^{C_g} следует заменить соответственно на величины $l_{CIF}^{B_g^p}$, $l_{CIF}^{C_g^p}$ и l_{CIF}^A , $l_{CIF}^{C_g}$.

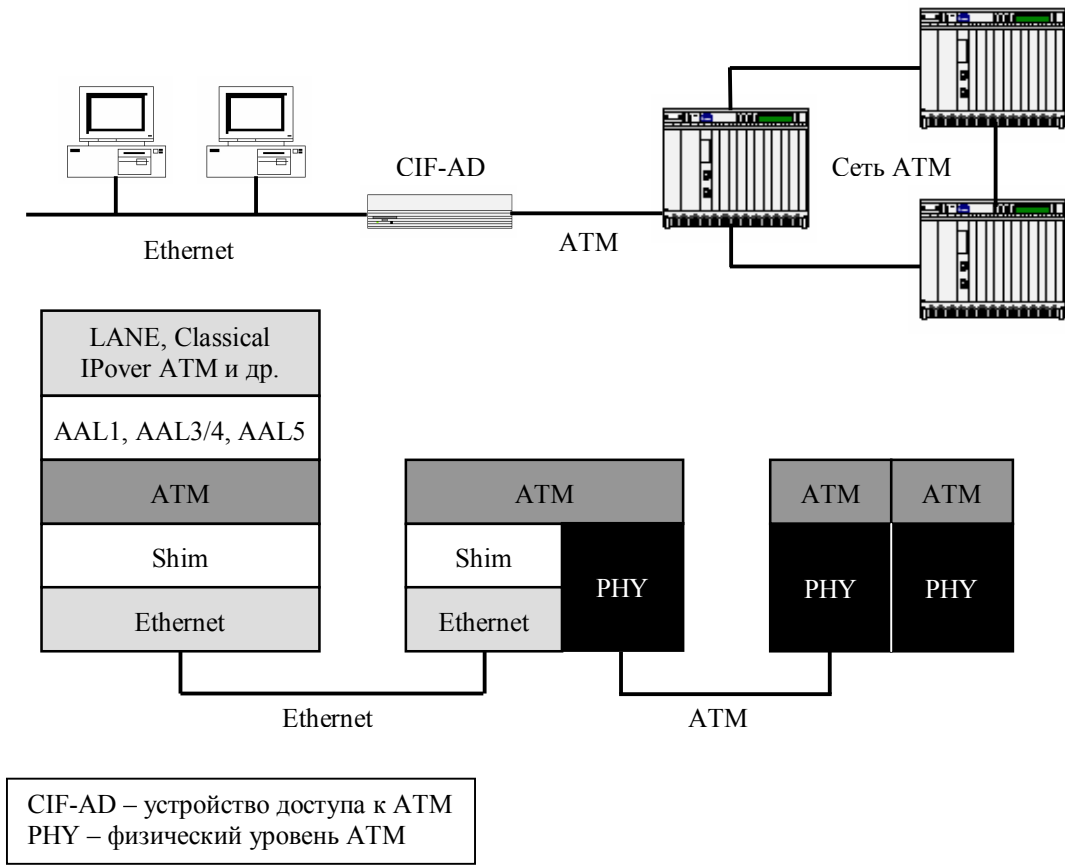


Рисунок 2 - Структура сети ATM и протокольный стек технологии CIF

Для пакетной ATM-CIF-системы:

$$1. \text{Найти } \arg \max_{L^B, \rho_{ij}^B} K^{B_g^p}(\rho^{B_g^p}, l_{CIF}^{B_g^p}) \quad (26)$$

$$\text{при условиях } b_{ij} \leq b^{multy}, \sum_{m=1}^{M_{st}^{B_g^p}} \rho_{st,m}^{B_g^p} (1 - F_{st,m}^{B_g^p}(\theta^B)) \leq d^B \text{ для всех } \forall st \in S^{B_g^p} : a_{st}^{B_g^p} \neq 0, \quad (27)$$

$$2. \text{Найти } \arg \max_{L^C, \rho_{ij}^C} K^{C_g^p}(\rho^{C_g^p}, l_{CIF}^{C_g^p} \mid \rho^{B_g^p \max}, l_{optCIF}^{B_g^p}) \quad (28)$$

$$\text{при условиях } b_{ij} \leq b^{multy} \text{ и } T_{st}^{C_g^p} \leq T_{st}^{C_g} \forall st \in S^{C_g^p} : a_{st}^{C_g^p} \neq 0, \quad (29)$$

и все параметры первой задачи найдены и фиксированы.

Для гибридной ATM-CIF-системы:

$$1. \text{ Найти } \arg \max_{V_{ij}^A} K^A(\Theta^A, l_{CIF}^A) \quad (30)$$

при условиях

$$b_{ij} \leq b^{multy} \text{ для всех } ij \in J^A : a_{ij}^A \neq 0 \text{ и } d^A \approx 0, \quad (31)$$

$$2. \text{ Найти } \arg \max_{\rho_{st}^{Cg}} K^{Cg}(\rho^{Cg}, l_{CIF}^{Cg} \mid \Theta^{Amin}, l_{optCIF}^A) \quad (32)$$

при условиях

$$b_{ij} \leq b^{multy} \text{ и } T_{st}^{Cg} \leq T^{Cg} \forall st \in S^{Cg} : a_{st}^{Cg} \neq 0, \quad (33)$$

и все параметры первой задачи найдены и фиксированы. Здесь выражения T_{st}^{Cg} аналогичны T_{st}^{Cp} .

Метод решения оптимизационных задач и анализа процессов переноса мультимедийной информации в режиме установленной мультимедийной сессии в однородных пакетной и гибридной инфотелекоммуникационных транспортных системах, реализованных на технологии ATM-CIF, заключается в следующем. При сделанных выше допущениях определяются оптимальные длины для пакетной системы - l_{optCIF}^{Bp} и l_{optCIF}^{Cp} , приравнивая к нулю производные $dK_{ij}^{Bp} / dl_{CIF}^{Bp} = 0$ и $dK_{ij}^{Cp} / dl_{CIF}^{Cp} = 0$ с учетом условной зависимости коэффициентов загрузки трафиком данных ρ^{Cp} от загрузки систем речевыми пакетами ρ^{Bp} . Первое уравнение оказывается квадратичным относительно неизвестной l_{CIF}^{Bp} . Его решение дается выражением

$$l_{optCIF}^{Bp} = \frac{(\theta^B v^B + H_{SAR}^{VBR})\alpha_1 - H_{ATM} v^B}{\alpha_1 + v^B}, \text{ где } \alpha_1 = \sqrt{(H_{SAR}^{VBR} + H_{ATM})V / z\theta^B} \quad (34)$$

Решить второе уравнение, которое является трансцендентным, содержащим полиномы второй степени относительно неизвестной переменной l_{CIF}^{Cp} , сложнее. Однако для его решения удалось найти нелинейный сжимающий оператор, позволивший построить для получения решения итерационную процедуру Коллатца:

$$l_{CIF}^{Cp} = x + H_{SAR}^{ABR}, \quad (35)$$

где $x = \lim_{k \rightarrow \infty} x_k$,

$$x_{k+1} = \frac{y-1}{\ln(1-p)} \left\{ 1 + \frac{x_k + \frac{T_{st}^{Cp} \omega^C (y-1)}{a_2 y \ln(1-p)}}{(T_{st}^{Cp} \omega^C - x_k) \left[\frac{(\widehat{\rho}_{ij}^{Bp} - 1)}{n\omega^C a_2} (T_{st}^{Cp} \omega^C - x_k) + 1 \right]} \right\}, \quad (36)$$

ω^C – скорость работы установки данных в мультимедийном терминале, бит/с; n - число переприемов в составном однородном тракте; $y = (1-p)^{x_k + H_{ATM}}$,

$a_2 = \frac{\widehat{\rho}_{ij}^{Bp}}{1 - \widehat{\rho}_{ij}^{Bp}} (l_{optCIF}^{Bp} + H_{ATM})$, $k = 0,1,2,\dots$ с начальным условием $x_0 \geq H_{SAR}^{ABR}$.

При $p = 0$ оптимальная длина фрейма представлена выражением

$$l_{optCIF}^{C_g^p} = \frac{-q \pm \sqrt{q^2 + a_3 c_3}}{a_3} + H_{SAR}^{ABR}, \quad (37)$$

где

$$a_3 = \left[n + \frac{1 - \hat{\rho}_{ij}^{B_g^p}}{\omega^C} V \right] - \left[n + \frac{1 - \hat{\rho}_{ij}^{B_g^p}}{\omega^C} V \right] (H_{SAR}^{ABR} + H_{ATM}) \frac{1}{\omega^C T_{st}^{C_g^p}} -$$

$$- \left[T_{st}^{C_g^p} V (1 - \hat{\rho}_{ij}^{B_g^p}) - n (l_{optCIF}^{B_g^p} + H_{ATM}) \frac{\hat{\rho}_{ij}^{B_g^p}}{1 - \hat{\rho}_{ij}^{B_g^p}} - n (H_{SAR}^{ABR} + H_{ATM}) \right] \frac{1}{\omega^C T_{st}^{C_g^p}};$$

$$q = \left[n + \frac{1 - \hat{\rho}_{ij}^{B_g^p}}{\omega^C} V \right] (H_{SAR}^{ABR} + H_{ATM});$$

$$c_3 = \left[T_{st}^{C_g^p} V (1 - \hat{\rho}_{ij}^{B_g^p}) - n (l_{optCIF}^{B_g^p} + H_{ATM}) \frac{\hat{\rho}_{ij}^{B_g^p}}{1 - \hat{\rho}_{ij}^{B_g^p}} - n (H_{SAR}^{ABR} + H_{ATM}) \right] H_{ATM}.$$

Значение $\hat{\rho}_{ij}^{B_g^p} = \frac{l_{optCIF}^B - H_{SAR}^{VBR}}{l_{optCIF}^B + H_{ATM}} \frac{v^B}{V} \hat{a}_{st}^{B_g^p} \eta^B z^B$, фигурирующее в выражениях (35) и (37)

должно удовлетворять неравенству $0 < \hat{\rho}_{ij}^{B_g^p} \leq \rho_{ij}^{B_g^p \max}$, где $\rho_{ij}^{B_g^p \max}$ – максимальное возможное значение коэффициента использования тракта передачи речевым трафиком класса B , рассчитанное по формуле (8) при $l_{optCIF}^{B_g^p}$, полученном из (34).

Для однородной гибридной АТМ-СІF-системы величина l_{optCIF}^A , доставляющая максимум для функционала K_{ij}^A , удовлетворяет уравнению $\frac{dK_{ij}^A(l_{optCIF}^A)}{dl_{optCIF}^A} = 0$. В частности, если

распределение активных речевых фрагментов экспоненциальное с параметром $\frac{1}{\tau^A}$, т. е.

$F^A(t) = 1 - e^{-\frac{t}{\tau^A}}$, то уравнение сводится к трансцендентному уравнению $e^{ax} = 1 + a + ax$, решение которого $x = \lim_{k \rightarrow \infty} x_k$ легко получить графоаналитическим способом или построив итерационную процедуру Коллатца:

$$x_{k+1} = \frac{1}{a} \ln(ax_k + a + 1) \quad (38)$$

с начальным условием $x_0 = \sqrt{\frac{2}{\alpha}}$, где $\alpha = \frac{H_{SAR}^{CBR}}{s^A} = \frac{H_{SAR}^{CBR}}{v^A \tau^A}$; $x = \frac{l_{optCIF}^A}{H_{SAR}^{CBR}} - 1$.

Для нахождения оптимального значения $l_{optCIF}^{C_g} = x + H_{SAR}^{ABR}$ (где $x = \lim_{k \rightarrow \infty} x_k$) также строится итерационная процедура Коллатца:

$$x_{k+1} = \frac{y-1}{\ln(1-p)} - \left[\frac{y-1}{(T_{st}^{C_g^p} \omega^C - x_k) \ln(1-p)} \right]^2 \frac{n T_{st}^{C_g^p} (\omega^C)^2}{V^3 y}, \quad (39)$$

$y = (1 - p)^{x_k + H_{ATM}}$, $k = 0, 1, 2, \dots$ с начальным условием $x_0 = 1$.

При $p = 0$ и $\beta^{Cg} = 1$ решение этого уравнения имеет явный вид:

$$l_{optCIF}^{Cg} = \frac{g^{Cg} \pm \sqrt{(g^{Cg})^2 + a^{Cg} r^{Cg}}}{a^{Cg}}, \quad (40)$$

где

$$a^{Cg} = (H_{SAR}^{ABR} + H_{ATM}) \frac{V^\varnothing}{\omega^C} \frac{1}{T^C \omega^C} - n; \quad g^{Cg} = (n + \frac{V^\varnothing}{\omega^C})(H_{SAR}^{ABR} + H_{ATM});$$

$$r^{Cg} = (H_{SAR}^{ABR} + H_{ATM})(T^C V^\varnothing - n(H_{SAR}^{ABR} + H_{ATM})).$$

Условие пропускания заданных объемов речевого трафика и трафика данных через системы при $p = 0$ формируется в виде неравенств

а) для пакетной системы

$$\eta^B z^{B_g} \frac{l_{optCIF}^{B_g} + H_{ATM}}{l_{optCIF}^{B_g} - H_{SAR}^B} \frac{v^B \widehat{a}^{B_g}}{V} \leq \rho^{B_g \max}; \quad (41)$$

$$\ominus^{\min} a^{C_g} \leq V \frac{l_{optCIF}^{C_g} - H_{SAR}^{ABR}}{l_{optCIF}^{C_g} + H_{ATM}} \left(1 - \rho_{st}^{B_g} - \left[\frac{l_{optCIF}^{C_g} + H_{ATM}}{T_{st,m}^{C_g} - \frac{l_{optCIF}^{C_g} - H_{SAR}^{ABR}}{\omega^C}} \right] \frac{n}{(1 - \rho_{st}^{B_g})V} \right). \quad (42)$$

б) для гибридной системы

$$V^A \leq v^A \widehat{a}^{A_g}; \quad (43)$$

$$\ominus^{\min} \widehat{a}^{C_g} \leq V^\varnothing \frac{l_{optCIF}^{C_g} - H_{SAR}^{ABR}}{l_{optCIF}^{C_g} + H_{ATM}} \left(1 - n \frac{l_{optCIF}^{C_g} + H_{ATM}}{(T_{st}^{C_g} - \frac{l_{optCIF}^{C_g} - H_{SAR}^{ABR}}{\omega^C})V^\varnothing} \right), \quad \forall ij \in J. \quad (44)$$

Разработаны алгоритмы анализа процессов предоставления инфокоммуникационных услуг связи в однородных пакетных и гибридных инфотелекоммуникационных транспортных системах, реализованных на технологии ATM-CIF, и алгоритм сравнительного их анализа при одинаковых условиях проектирования, который реализован в виде пакета прикладной программы. Показано, что для высоких скоростей передачи в пакетной системе с кодированием пауз в речевых соединениях степень использования сетевых ресурсов разнородным трафиком более чем на 25% лучше, чем в гибридной. При этом с ростом скорости передачи эффективность пакетной системы повышается. Общий характер зависимости эффективности передачи от величины речевого трафика следующий. Для высокоскоростных систем с ростом речевой нагрузки эффективность пакетной системы также растет по сравнению с гибридной.

Предложен логический метод повышения эффективности инфотелекоммуникационной транспортной системы, реализованной на технологии ATM-CIF, базирующийся на управлении оптимальной длиной уровневого примитива на подуровне сборки/разборки уровня адаптации ATM SAR AAL и независимом от этой длины выборе оптимальной длины фрейма данных на подуровне CIF при помощи специального интерфейса между этими подуровнями. Для расчета оптимальных длин уровневых примитивов построены соответствующие итерационные процедуры. Показано, что введение процедур форматирования позволяет повысить использование ресурса пропускной способности трактов передачи системы свыше 12% по сравнению с классической технологией ATM.

На примере однородной инфотелекоммуникационной транспортной системы, реализованной на технологии IP-QoS, в режиме установленного соединения с использованием разработанных моделей и инструментальных средств осуществлена экспериментальная оценка влияния механизмов защиты на характеристики и ресурсы сети в плане вносимой протокольной, временной и потоковой избыточности. Показано, что задействование механизмов защиты ухудшает значение критерия эффективности использования пропускной способности системы до 31%. При этом при увеличении скорости в тракте передачи это ухудшение увеличивается.

В пятом разделе на основе предложенных в предыдущих разделах моделей и методов строятся инженерные методики и алгоритмы синтеза инфотелекоммуникационных транспортных систем минимальной производительности, реализованных на технологии IP-QoS и ATM, с учетом механизмов защиты информационных ресурсов сети и заданных условий проектирования.

Предложена инженерная методика оценки эффективности использования сетевых ресурсов мультимедийным трафиком и синтеза неоднородной защищенной инфотелекоммуникационной транспортной системы минимальной производительности, реализованной на технологии IP-QoS.

Построен оригинальный алгоритм синтеза наиболее рационального варианта защищенной неоднородной инфотелекоммуникационной транспортной системы, реализованной на технологии IP-QoS, с учетом заданных условий проектирования. Указанный алгоритм решает задачу выбора ресурса минимальной пропускной способности защищенной системы с использованием алгоритма скользящего допуска в двойственной постановке. Он отличается тем, что в нем строится специальная процедура «оптимизатор», позволяющая находить и отслеживать оптимум функции многих переменных в условиях смещения указанного оптимума, т. е. алгоритм скользящего допуска управляется по специальным условиям: оптимизационный процесс поиска минимальной скорости V_{ij} линейно-цифровых трактов для переноса мультимедийных информационных потоков заданной структуры и объема на каждом шаге итерационной процедуры управляется явно заданными величинами входных многокомпонентных потоков и заданными условиями их обслуживания. При этом на каждом шаге осуществляется оптимизационный процесс поиска $\rho_{ij}^{Bp\max}$, L_{opt}^{Bp} и $\rho_{ij}^{Cp\max}$, L_{opt}^{Cp} , т. е. решается задача анализа сети.

Предложены инженерные методики оценки эффективности использования сетевых ресурсов мультимедийным трафиком и синтеза однородных инфотелекоммуникационных транспортных систем минимальной производительности, реализованных на технологии ATM-CIF.

Разработаны на основе алгоритма детохомии алгоритмы синтеза «типовых» однородных трактов пакетных и гибридных инфотелекоммуникационных транспортных систем, реализованных на технологии ATM-CIF, с учетом заданных условий проектирования. Они также отличаются встроенной специальной процедурой «оптимизатор», которая позволяет находить и отслеживать оптимум функции многих переменных в условиях смещения указанного оптимума, т. е. разработаны алгоритмы управляемой детохомии по специальным условиям: оптимизационный процесс поиска минимальной скорости передачи в тракте передачи V для сквозного переноса мультимедийного трафика на каждом шаге управляется явно заданными величинами входных многокомпонентных потоков и заданными условиями их обслуживания. При этом на каждом шаге решается задача анализа сети. В приложениях приведены тексты пакетов прикладных программ.

Результаты расчетов позволяют сравнить различные реализации транспортных систем по затратам на аренду каналов связи первичной сети и оценить их экономическую эффективность.

В заключении приведены основные научные и практические результаты, полученные в результате решения поставленной проблемы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

Цели и задачи, поставленные в работе, достигнуты и решены. Основные результаты диссертационной работы сводятся к следующему:

1. Выявлены особенности логических структур моделей сетевых архитектур инфотелекоммуникационных транспортных систем, связанные со спецификой переноса в них мультимедийных информационных потоков в рамках предоставления инфокоммуникационных услуг связи, и программные реализации функций «совмещения», «управления резервированием сетевых ресурсов» и «контроля допустимости установления соединения». Уточнена эталонная модель архитектуры DARPA и сформулированы три базовых принципа построения инфокоммуникационных сетей: принцип QoS-маршрутизации; принцип масштабируемости сетевых ресурсов и принцип «совмещения» разнородного трафика. Для оценки качества обслуживания мультимедийных соединений предложено использовать «квантильный» подход к построению их качественных показателей;

2. Обоснованы и предложены с позиций системного подхода концептуальные основы моделирования и анализа процессов функционирования инфотелекоммуникационных транспортных систем: принцип функционально-структурной целостности; принцип иерархии и принцип единственности, позволяющие теоретически обосновать формализацию инфокоммуникационных услуг связи с заданными качественными и количественными параметрами с учетом широкого набора сетевых факторов, влияющих на качество их обслуживания. В качестве методологической основы описания инфокоммуникационных услуг связи в диссертации предлагается использовать терминологию и принципы, сформулированные Международной организацией по стандартизации для модели архитектуры взаимодействия открытых систем, с учетом их специфики инфокоммуникационных сетей.

3. Разработаны комплексные функциональные критерии эффективности инфотелекоммуникационных транспортных систем, реализованных на технологиях IP-QoS и ATM, на основе моделей их сетевых архитектур и позволяющие оценить в численной и количественной форме эффективность использования сетевых ресурсов мультимедийным трафиком. Построены аналитические выражения комплексных критериев эффективности защищенной инфотелекоммуникационной транспортной системы, реализованной на технологии IP-QoS, с учетом временной, протокольной и потоковой избыточности, вносимой механизмами защиты в информационное окружение сети.

4. Разработан комплекс аналитических моделей процессов функционирования инфотелекоммуникационных транспортных систем, реализованных на технологиях IP-QoS и ATM, формализующих работу транспортного стека уровневых логических соединений с учетом параметров, входящих в каждый уровень транспортной архитектуры, и требуемых для их организации сетевых ресурсов, в том числе

- а) разработаны аналитические модели процессов предоставления механизмов защиты;
- б) разработаны аналитические модели защищенных процессов предоставления инфокоммуникационных услуг в инфотелекоммуникационной транспортной системе, реализованной на технологии IP-QoS, с учетом вносимой ими временной, протокольной и потоковой избыточности;
- в) разработаны с учетом «квантильной» постановки модели качественных показателей переноса мультимедийной информации в сессии;
- г) показано, что расчет характеристик инфотелекоммуникационных транспортных систем связан с анализом их эффективности.

5. Разработаны методы и алгоритмы анализа процессов функционирования инфотелекоммуникационных транспортных систем, реализованных на технологиях IP-QoS и ATM, на основе предложенных интегральных аналитических моделей, в том числе:

а) сформулированные в полной сетевой постановке задачи анализа защищенной неоднородной инфотелекоммуникационной транспортной системы, реализованной на технологии IP-QoS, и указаны методы их решения;

б) разработан на основе алгоритма скользящего допуска усовершенствованный алгоритм анализа неоднородной защищенной инфотелекоммуникационной транспортной системы, реализованной на технологии IP-QoS, учитывающий специфику предоставления инфотелекоммуникационных услуг связи. Алгоритм доведен до программной реализации, на базе которой построена автоматизированная экспертная система;

в) сформулированы задачи анализа процессов функционирования однородных пакетных и гибридных инфотелекоммуникационных транспортных систем, реализованных на технологии ATM-CIF, и предложены методы их решения. Для нахождения оптимальных длин пакетов построены соответствующие итерационные процедуры;

г) разработаны алгоритмы анализа процессов переноса мультимедийной информации в однородных пакетных и гибридных инфотелекоммуникационных транспортных системах, реализованных на технологии ATM-CIF, а также алгоритм их сравнительного анализа, позволяющий сравнить различные системы по эффективности использования их пропускной способности мультимедийным трафиком при одинаковых условиях проектирования. На основе предложенного алгоритма разработана прикладная программа. Показано, что однородная пакетная инфотелекоммуникационная транспортная система с уплотнением пауз в речевом трафике позволяет более чем на 50% увеличить объем пропускаемого трафика данных при тех же входных объемах речевого трафика;

д) сформулированы условия пропускания мультимедийных потоков в инфотелекоммуникационных транспортных системах, реализованных на технологиях IP-QoS и ATM, как результат сравнения допустимых загрузок линейно-цифровых межузловых трактов передачи речевыми пакетами и пакетами данных при заданной системе маршрутов в процессе предоставления инфокоммуникационной услуги связи и загрузок, заданных в виде матриц входных многокомпонентных потоков при той же системе маршрутов;

е) разработан логический метод повышения эффективности пакетной инфотелекоммуникационной транспортной системы на основе управляемой оптимизации общих функционалов использования ее пропускной способности мультимедийным трафиком при введении процедур форматирования уровневых примитивов переменной длины. На примере пакетной однородной инфотелекоммуникационной транспортной системы, реализованной на технологии ATM-CIF, показано, что указанный метод позволяет повысить использования сетевых ресурсов системы свыше 12%;

ж) получены с использованием разработанных моделей и инструментальных средств экспериментальные оценка влияния механизмов защиты на характеристики и ресурсы сети. Установлено, что задействование механизмов защиты может ухудшить критерий эффективности использования пропускной способности системы более чем на 30%. При этом при увеличении скорости в тракте передачи это ухудшение увеличивается.

6. Разработаны инженерные методики и алгоритмы синтеза инфотелекоммуникационных транспортных систем, реализованных на технологиях IP-QoS и ATM-CIF, при этом:

а) разработан алгоритм синтеза наиболее рационального варианта неоднородной защищенной инфотелекоммуникационной транспортной системы, реализованной на технологии IP-QoS, с учетом заданных условий проектирования на основе управляемого алгоритма скользящего доступа с учетом специфики предоставления инфокоммуникационной услуги связи;

б) разработаны алгоритмы синтеза наиболее рационального варианта однородных пакетной и гибридной инфотелекоммуникационных транспортных ATM-CIF-систем на

основе усовершенствованного алгоритма детохомии с учетом специфики предоставления инфокоммуникационных услуг связи. Алгоритмы реализованы в виде пакета прикладных программ.

Разработанные на основе полученных в работе научных и практических результатов пакеты прикладных программ позволяют решить актуальную задачу ближайшей перспективы создания высокоэффективной защищенной национальной инфокоммуникационной сети.

7. Дальнейшие научные исследования по теме диссертации следует продолжить в следующих направлениях:

- разработка более точных моделей процессов переноса мультимедийных объектов в рамках инфокоммуникационной услуги связи на основе СМО типа $G/M/s/w$ и построение на их основе системы автоматизированного проектирования инфокоммуникационных сетей;

- решение задачи Пальма для инфокоммуникационной сети с конечным накопителем и учетом специфики организации мультимедийных соединений с переменным заявляемым сетевым ресурсом и различной потоковой структурой;

- управление многокомпонентными потоками в инфокоммуникационных сетях;

- исследование влияния механизмов защиты на информационное окружение сети на моделях предоставления инфоуслуг в сеансе связи по схеме «пользователь-сервер приложений» (в том числе и при предоставлении инфоуслуг с голосовым управлением) с учетом процессов переноса и обработки мультимедиа на сервисных узлах, в которых формализация инфокоммуникационных услуг связи при взаимодействии открытых систем по схеме «процесс-процесс» являются частным случаем;

- разработка моделей мультимедийных источников в т. ч. а) дискретно-непрерывных неоднородных источников с линейным наложением потоков (например, электронные книги – текст с картинками, электронная музыкальная тетрадь – текст с музыкой, электронные клипы – речь с музыкой, видеоролики – речь с изображением и т. п.), а также б) дискретно-непрерывных неоднородных источников с нелинейной агрегацией потоков (например, потоки «человек – программы», управляемые мозгом человека, неоднородные потоки сообщений от управляющих информационных систем – управление данными, речью, музыкой изображениями и т. п.).

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в журналах, рекомендованных ВАК РФ для докторских диссертаций

1. *Мошак, Н.Н.* Метод расчета оптимальных длин основных протокольных блоков в пакетной транспортной системе объединенной цифровой сети связи / Н.Н. Мошак // Труды учебных институтов связи. Сети, узлы и распределение информации / ЛЭИС. Л., 1983. с. 53 – 58.

2. *Амосов, А.А.* Архитектура и метод расчета оптимальной длины элемента коммутации гибридной транспортной системы объединенной цифровой сети связи / А.А. Амосов, Н.Н. Мошак // Труды учебных институтов связи. Теория передачи информации по каналам связи / ЛЭИС. Л., 1983. с. 150 – 156.

3. *Амосов, А.А.* Метод расчета оптимальных длин речевых пакетов и пакетов данных в объединенной цифровой сети связи / А.А. Амосов, Н.Н. Мошак // Труды учебных институтов связи. Системы и средства передачи по каналам связи / ЛЭИС. Л., 1983. с. 90 – 98.

4. *Мошак, Н.Н.* Модель расчета характеристик системы сигнализации сети АТМ / Н.Н. Мошак // Труды учебных заведений связи / СПбГУТ. СПб. 2003. № 169. с. 175 – 188.

5. Мошак, Н.Н. Исследование транспортной системы АТМ в ячейках переменной длины / Н.Н. Мошак // Труды учебных заведений связи / СПбГУТ. СПб, 2004. № 170. с. 39 – 43.
6. Мошак Н.Н. Анализ логической структуры транспортной сети АТМ / Н.Н. Мошак // Электросвязь. 2001. №9. с. 40 – 44.
7. Мошак, Н.Н. Оценка влияния протоколов VPN канального уровня на параметры транспортной системы инфокоммуникационной сети на технологии IP-QoS // Труды учебных заведений связи / СПбГУТ. СПб., 2006. № 175.
8. Гвоздев, И.М. Отечественные средства для построения виртуальных частных сетей И.М. Гвоздев, В.Н. Зайчиков, Н.Н. Мошак и др. // Сети и системы связи. 1999. № 12. с. 12 – 23.
9. Мошак, Н.Н. Методы расчета параметров сети АТМ / Н.Н. Мошак // Известия вузов. Приборостроение. 2002. Т. 45. № 3. с. 27 – 32.
10. Мошак, Н.Н. Анализ программной структуры сети АТМ Ч. 1. (Уровень ААЛ) / Н.Н. Мошак // Электросвязь. 2002. № 7. с. 33 – 37.
11. Мошак, Н.Н. Анализ программной структуры сети АТМ. Ч. 2. (Уровень АТМ) / Н.Н. Мошак // Электросвязь. 2002. № 8. с. 29 – 33.
12. Мошак, Н.Н. Сравнительный анализ служб CBR и VBRrt в сети АТМ / Н.Н. Мошак // Электросвязь. 2003. № 10. с. 49 - 52.
13. Мошак, Н.Н. Особенности построения политики информационной безопасности в инфокоммуникационной сети / Н.Н. Мошак, Е.А. Тимофеев // Электросвязь. 2005. №9. с. 23 – 28.
14. Мошак, Н.Н. Метод расчета характеристик транспортной системы инфокоммуникационной сети на технологии IP-QoS / Н.Н. Мошак // Электросвязь. 2006. № 3. с. 44 – 47.
15. Мошак, Н.Н. Особенности архитектуры мультисервисных сетей с услугами безопасности / Н.Н. Мошак // Электросвязь. 2007. № 5. с. 34 – 40.
16. Мошак, Н.Н. Анализ транспортной системы инфокоммуникационной сети на технологии IP-QoS с услугами протоколов VPN / Н.Н. Мошак, Д.Б. Цветков // Деньги и кредит. 2007. № 8. с. 46 – 52.
17. Мошак, Н.Н. Модели услуг аутентификации в задаче анализа инфокоммуникационной сети / Н.Н. Мошак // Известия вузов России. Радиоэлектроника. 2007. № 5. с. 18 – 25.
18. Мошак, Н.Н. Модели и методы анализа данных мониторинга автоматизированных систем / Н.Н. Мошак, Е.А. Тимофеев // Электросвязь. 2008. № 4. с. 40 – 45.

Другие публикации

19. Мошак, Н.Н. Основы построения транспортной системы сети телекоммуникаций / Н.Н. Мошак, С.Р. Рудинская. Минск: ФУАинформ, 2006. 109 с.
20. Амосов, А.А. Анализ транспортных систем интегральных цифровых сетей связи / А.А. Амосов, Н.Н. Мошак // Техника средств связи. Сер. ТПС. 1983. Вып. 8. с. 3 – 14.
21. Амосов, А.А. Метод расчета основных параметров пакетной транспортной системы интегральной цифровой сети связи / А.А. Амосов, Н.Н. Мошак // Автоматика и вычислительная техника. Рига: Зинатне, 1994. № 6. с.16-24.
22. Мошак Н.Н. Основы проектирования сетей АТМ. Ч. 1. Архитектура сети АТМ: учеб. пособие / Н.Н. Мошак; СПбГУТ. СПб., 2002. 96 с.
23. Мошак, Н.Н. Основы проектирования сетей АТМ. Ч. 2. Методы и модели расчета параметров широкополосных цифровых сетей с интеграцией служб: учеб. пособие / Н.Н. Мошак; СПбГУТ. СПб., 2003. 84 с.
24. Мошак, Н.Н. Теория проектирования транспортной системы инфокоммуникационной сети: учеб. пособие для вузов / Н.Н. Мошак. СПб.: Энергомашиностроение, 2006. 159 с.

25. *Мошак, Н.Н.* К вопросу об архитектуре локальных сетей оптической связи / Н.Н. Мошак, О.С. Чугреев // Совершенствование средств автоматической коммутации в ЕАСС / Радио и связь. 1982. с.23 - 24.
26. *Амосов, А.А.* Методы расчета основных параметров пакетной транспортной системы интегральных цифровых сетей связи / А.А. Амосов, Н.Н. Мошак // Третья Всесоюзная конференция «Вычислительные сети коммутации пакетов». Рига, 1983. с. 16 – 24.
27. *Амосов, А.А.* Синтез транспортных каналов минимальной производительности в пакетной цифровой сети связи интегрального обслуживания для заданных величин разнородной нагрузки / А.А.Амосов, Н.Н Мошак // Труды V всесоюзного симпозиума по проблемам управления на сетях и узлах связи. Винница, июнь 1985. с. 9 – 11.
28. *Елпатов, А.А.* Защита информации в локальных системах управления / А.А. Елпатов, О.С. Чугреев, Н.Н. Мошак; ИРЭ РАН. М., 1995. С. 58 – 59.
29. *Мошак, Н.Н.* Метод построения расчета транспортных систем широкополосной цифровой сети интегрального обслуживания на технологии ATM / Н.Н. Мошак // Тез. докл. VII Санкт-Петербургской междунар. конф. «Региональная информатика-2000»: Ч. 1. СПб., 2000. с. 68 – 69.
30. *Мошак, Н.Н.* Особенности построения архитектуры широкополосной цифровой сети интегрального обслуживания на технологии ATM / Н.Н. Мошак // Тез. докл. VII Санкт-Петербургской междунар. конф «Региональная информатика-2000». Ч. 1. СПб., 2000. с. 68.
31. *Мошак, Н.Н.* Сравнительный анализ служб CBR и VBRrt в сети ATM / Н.Н. Мошак // Тр. 8-й Международной конференции по информационным сетям, системам и технологиям (МКИССиТ-2002). СПб, 2002. с. 235 – 244.
32. *Мошак, Н.Н.* Особенности построения политики информационной безопасности в мультисервисных сетях связи / Н.Н. Мошак. // Информационные сети, системы и технологии: Материалы IV Международного научного семинара. М., 2003. с.137 – 139.
33. *Мошак, Н.Н.* Организация интегрального мониторинга информационной безопасности в автоматизированных системах инфоуслуг NGN / Н.Н. Мошак, Е.А. Тимофеев // Сб. тр. Первого международного научного конгресса «НЕЙРОБИОТЕЛЕКОМ-2004». СПб., 2004. с. 264 – 267.
34. *Мошак, Н.Н.* Анализ сигнальной системы ATM с учетом услуг безопасности / Н.Н. Мошак // «Региональная информатика-2004»: Материалы IX Санкт-Петербургской Международной конференции. СПб., 2004. с. 49.
35. *Мошак, Н.Н.* Исследование транспортной системы ATM в сервисных примитивах уровней архитектуры переменной длины / Н.Н. Мошак // Информационные Сети, системы и Технологии: материалы V Международного Семинара 26-27 октября 2004г. М., 2004. с.126 – 132.
36. *Мошак, Н.Н.* Особенности построения логической структуры инфокоммуникационной сети на технологиях ATM и IP-QoS / Н.Н. Мошак // Мат. V Международной научной конференции «Информационные сети, системы и технологии». М., 2005. с. 76 – 83.
37. *Мошак, Н.Н.* Особенности построения NGN архитектуры мультисервисной сети на технологии IP / Н.Н. Мошак // Мат. Санкт-петербургской научно-практич. конф. «Проблемы подготовки кадров в сфере инфокоммуникационных технологий». СПб.: СПОИСУ, 2005. с. 99 – 103.
38. *Мошак, Н.Н.* Механизмы реализации допустимости установления соединения в инфокоммуникационной сети / Н.Н. Мошак // Мат. V Международной конференции «Информационные сети, системы и технологии». М., 2005. с. 69 – 76.
39. *Мошак, Н.Н.* Перспективы разработки САПР инфокоммуникационных сетей с услугами безопасности на базе IT-парка / Н.Н. Мошак // Мат. Междунар. научно-методической конф. «Роль инфокоммуникационных технологий в совершенствовании системы управления качеством образования» / СПбГУТ. СПб., 2005. с. 74 – 75.

40. *Мошак, Н.Н.* Общая постановка анализа и проблемы проектирования инфокоммуникационной сети с услугами безопасности / Н.Н. Мошак, Д.Б. Цветков // Мат. Междунар. научно-методической конф. «Роль инфокоммуникационных технологий в совершенствовании системы управления качеством образования / СПбГУТ. СПб., 2005. с. 75 – 78.

41. *Мошак, Н.Н.* Оценка влияния протоколов VPN канального уровня на параметры транспортной системы инфокоммуникационной сети на технологии IP-QoS / Н.Н. Мошак, Д.Б. Цветков // Информационные сети, системы и технологии: материалы Международная научн. конф. МКИССиТ-2006 30 октября - 02 ноября 2006г., СПб., 2006. с.31 – 33.

42. *Мошак, Н.Н.* Оценка влияния протоколов VPN сетевого уровня на параметры транспортной системы инфокоммуникационной сети на технологии IP-QoS / Н.Н. Мошак, Д.Б. Цветков // Информационные сети, системы и технологии: материалы Международной научн. конф. МКИССиТ-2006 30 октября -02 ноября 2006г., СПб., 2006. с.33 – 35.

43. *Мошак, Н.Н.* Модели оценки влияния механизмов шифрования на параметры пакетной транспортной системы инфокоммуникационной сети / Н.Н. Мошак // «Региональная информатика-2006 (РИ-2006)»: материалы X Санкт-петербургской международной конференции 24-26 октября 2006г. СПб., СПОИСУ, 2006. с. 120.

44. *Мошак, Н.Н.* Метод оценки влияния механизмов VPN на пропускную способность инфокоммуникационной сети на технологии IP-QoS / Н.Н. Мошак, Д.Б. Цветков // 59 научно-практическая конференция профессорско-преподавательского состава научных сотрудников и аспирантов: материалы / СПбГУТ. 2007. с.165 – 166.

45. *Мошак, Н.Н.* Модели механизмов аутентификации в инфокоммуникационных сетях / Н.Н. Мошак // Материалы международной конференции «Математические методы повышения эффективности инфокоммуникационных сетей» 29 янв.– 1 февр. Гродно (Белоруссия), 2007. с. 159 – 164.

46. *Мошак, Н.Н.* Оценка влияния трафика безопасности на характеристики пакетной транспортной системы мультисервисной сети / Н.Н. Мошак // Мат. XI Санкт-Петербургской междуна. конф. «Региональная информатика-2008». СПб., 2008. с. 106.

47. *Мошак, Н.Н.* Принципы построения пакетных транспортных систем защищенных мультисервисных сетей связи / Н.Н. Мошак // Мат. XI Санкт-Петербургской междуна. конф. «Региональная информатика-2008. СПб., 2008. с. 80.

48. *Колбанев, М.О.* Методологические основы анализа и синтеза защищенных инфокоммуникационных сетей связи / М.О. Колбанев, Н.Н. Мошак // Сб. науч. тр. Третьего междунар. науч. конгр. «НЕЙРОБИОТЕЛЕКОМ-2008». СПб., 2008. с. 30 – 32.

49. *Мошак, Н.Н.* Модели защищенных транспортных систем мультисервисных сетей связи / Н.Н. Мошак // Сб. науч. тр. Третьего междунар. науч. конгр. «НЕЙРОБИОТЕЛЕКОМ-2008». СПб., 2008. с. 38 – 41.