

На правах рукописи



**БАСОВ ОЛЕГ ОЛЕГОВИЧ**

**МОДЕЛИ И МЕТОД СИНТЕЗА  
ПОЛИМОДАЛЬНЫХ ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ**

Специальность 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (технические науки)

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
доктора технических наук

Орёл – 2016

Работа выполнена в федеральном государственном казенном военном образовательном учреждении высшего образования Академии Федеральной службы охраны Российской Федерации.

- Научный консультант: доктор технических наук, профессор  
**Саитов Игорь Акрамович**
- Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор  
**Мещеряков Роман Валерьевич,**  
ФГБОУ ВПО «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники», заведующий кафедрой «Безопасность информационных систем»;
- доктор технических наук, профессор  
**Царегородцев Анатолий Валерьевич,**  
ФГБОУ ВО «Московский государственный лингвистический университет», заведующий кафедрой «Информационная безопасность»;
- доктор технических наук, старший научный сотрудник  
**Фархадов Маис Паша Оглы,**  
ФГБУН «Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской академии наук», заведующий лабораторией «Автоматизированные системы массового обслуживания»
- Ведущая организация: Федеральное государственное учреждение «Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук» (ФИЦ ИУ РАН).

Защита состоится « 24 » ноября 2016 г. в 14-00 на заседании диссертационного совета Д.002.199.01 при Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Санкт-Петербургском институте информатики и автоматизации Российской академии наук по адресу: 199178, Россия, Санкт-Петербург, 14 линия В. О., дом 39.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте Федерального государственного бюджетного учреждения науки Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации Российской академии наук.

Автореферат разослан «   » \_\_\_\_\_ 2016 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета Д.002.199.01

кандидат технических наук



Фатхиева Роза Равильевна

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность исследования.** В современном обществе информация выступает основополагающим компонентом, обеспечивающим полноценную жизнедеятельность ее конечных пользователей: как отдельных граждан, так и государства в целом. Этот факт нашел свое отражение в наблюдаемой сегодня глобальной тенденции перехода от индустриального общества к информационному. В процессе такой информатизации происходит быстрый рост информационного пространства (ИнфП) человека, которое достигает размеров ИнфП общества, а последнее становится единым ИнфП с мощной высокоразвитой инфокоммуникационной инфраструктурой и единым информационным фондом.

Средствами информационного взаимодействия субъектов ИнфП (пользователей) и их доступа к информационным ресурсам посредством услуг связи и информатизации соответственно являются *телекоммуникационные системы*. Последние традиционно выполняют функции получения, обработки, передачи и восстановления информации, реализуя только коммуникативную сторону общения. В процессе своего экстенсивного развития телекоммуникационные системы эволюционировали в *инфокоммуникационные*, способные в некоторой степени реализовать и интерактивную сторону общения (обмен действиями). Большим количеством авторских коллективов и научных школ выполнен значительный объем НИОКР, посвященных вопросам разработки методологических и методических основ исследования свойств таких систем. К таким научным коллективам можно, в первую очередь, отнести научные школы профессоров Александрова В.В., Кулешова С.В. (цифровая программируемая технология инфокоммуникационных систем), Зацаринного А.А. (синтез информационно-телекоммуникационных сетей), Цвиркуна А.Д. (теория анализа и синтеза структур крупномасштабных систем), Половко А.М., Ушакова И.А. (теория надежности систем), Северцева Н.А. (теория системной безопасности), Будзко В.И. (отказо- и катастрофоустойчивость систем), Смирнова А.В. (интеллектуальное управление конфигурациями виртуальных и сетевых организаций), Курдюмова С.П., Малинецкого Г.Г., Кульбы В.В. (синергетика, когнитивное моделирование), Ильина Н.И. (информационные системы поддержки принятия управленческих решений), Уткина Л.В. (анализ риска и принятие решений при неполной информации), Шубинского И.Б. (анализ структурно-функциональной надежности информационных систем), Анисимова В.Г. (адаптивное планирование и ресурсно-временная оптимизация сложных систем), Соколова Б.В., Охтилева М.Ю., Павлова А.Н. (проактивное управление структурной динамикой сложных объектов), Юсупова Р.М. (информатизация, информационная безопасность) и др. В последние десятилетия в научном сообществе уделялось большое внимание отдельным вопросам синтеза транспортных сетей и сетей доступа, оптимизации характеристик оборудования мультимплексирования и систем коммутации с учетом современных требований по качеству обслуживания пользователей. Благодаря работам отечественных и зарубежных ученых Алексеева Е.Б., Захарова Г.П., Клейнрока Л., Лебедева А.Т., Лохмотко В.В., Назарова А. Н., Одоевского С.М., Степанова С.Н., Царегородцева А.В. и других, появился современный парк аппаратно-программных средств связи (АПСС), разработаны протоколы передачи разнородных сообщений через оборудование конвергированных инфокоммуникационных систем (ИКС).

В настоящее время наблюдаются тенденции по слиянию или взаимопроникновению традиционных услуг связи, появлению новых информационных технологий, позволяющих пользователям расширять функциональность абонентских терминалов ИКС. Однако эти приложения внедряются в узкоспециализированных информационных системах за счет аддитивного наращивания затрат ресурсов пропускной способности и вычислительных мощностей процессоров. Для максимальной открытости пользовательских интерфейсов происходит обезличивание отдельных инфокоммуникационных услуг, т. е. субъект ИнфП все чаще запрашивает у сети один вид сервиса под названием *«соединение с сетью»*, который подразумевает возможность получения им доступного или наиболее удобного способа взаимодействия с другим субъектом или информационными ресурсами. Однако в условиях наблюдаемого сегодня роста мощности и интенсивности информационных потоков, а также объемов информации, циркулирующей в ИнфП, существующие технические средства ИКС оказываются функционально ограниченными и не обеспечивают пользователя (согласно ГОСТ РВ 51987–2002) *надежно и своевременно предоставляемой, полной, достоверной и конфиденциальной информацией*.

Одним из путей преодоления указанного противоречия является создание *новых методов обработки и представления информации, передачи все большей доли информационной деятельности информационным системам*, создаваемым на базе новых информационных и коммуникационных технологий и аппаратно-программных средств. Перспективным в этом смысле является отказ от традиционных принципов разделения передаваемой информации на услуги связи (информатизации) в пользу ее *многомодального представления*.

Во время традиционной межличностной коммуникации люди почти всегда взаимодействуют *многомодально*, используя вербальные и невербальные каналы. В данных условиях возникает объективная *необходимость* исследования путей обеспечения полимодальности диалога пользователей в процессе коммуникативного взаимодействия через технические средства. Создание технических систем на основе многомодальных интерфейсов стало возможным благодаря современным достижениям когнитивной науки, изучающей человеческие механизмы восприятия и межличностное взаимодействие (Бутовская М.Л., Величковский Б.М., Овиат С.Л., Экман П.). Эта научная отрасль сегодня обеспечила получение фундаментальных результатов в моделировании поведения абонентов, а также выявила закономерности построения и применения многомодальных человеко-машинных систем. Сигналы отдельных модальностей (речевой, движение губ, движение глаз, движение лицевых мышц, жесты и пр.) всесторонне исследуются при решении задач компактного представления и распознавания речи и изображений, чтения по губам, дефиниции жестов, определения физиологического (в том числе утомления) и психоэмоционального состояния, аутентификации (идентификации, верификации) абонента, оценки истинности передаваемой информации, синтеза речи и изображений (работы Аграновского А.В., Бондаренко В.П., Галунова В. И., Геппенера В. В., Карпова А. А., Косарева Ю. А., Матвеева Ю. Н., Мещерякова Р.В., Ронжина А.Л., Сорокина В. Ю., Устинова А.А., Фархадова М.П. и др.).

Соотнесение достижений когнитивной науки с результатами исследований в области информационных и коммуникационных технологий свидетельствует о необходимости и возможности перераспределения и согласования между пользователями информации от различных (традиционных и новых) сенсорных систем (анализаторов). Все это позволяет говорить о перспективности реализации *полимодальных инфокоммуникационных систем (ПИКС)*, под которыми следует понимать взаимоувязанную совокупность систем обработки и хранения информации, телекоммуникационных сетей, их объединяющих, функционирующих под единым управлением с целью сбора, обработки, хранения, защиты, передачи и распределения, отображения и использования многомодальной информации требуемого качества.

При достигаемом современными информационными и коммуникационными технологиями уровне надежности и безопасности информация, предоставляемая субъектам ИнфП, не отражает реальное или оцениваемое состояние всех требуемых объектов учета (ОУч) предметной области инфокоммуникационного взаимодействия (свойство *полноты*) со степенью приближения, обеспечивающей эффективное использование этой информации согласно целевому назначению ИКС (свойство *достоверности*). Если в традиционных инфокоммуникациях ОУч являются блоки данных, соответствующие услугам связи, то в ПИКС под ОУч понимаются блоки данных, несущие сведения о различных аспектах коммуникативного взаимодействия пользователей (организации доступа к информационным ресурсам). Информацию можно считать полной, когда она содержит минимальный, но достаточный для принятия правильного решения набор показателей (ОУч). Как неполная, так и избыточная информация снижает эффективность принимаемых на ее основе решений.

В связи с вышеизложенным, актуальность диссертационной работы определяется необходимостью разрешения противоречий, обусловленных следующими основными группами факторов.

Первая группа факторов (*проблемы практики*) – наличие диспропорций между постоянно возрастающим объемом информации, циркулирующей в ИнфП, и ограниченными возможностями традиционных ИКС, не обеспечивающими требуемого качества (полноты, достоверности и своевременности) информации.

Вторая группа факторов (*проблемы теории*) – недостаточный уровень развития теоретических и методологических основ решения задач анализа, синтеза и оптимизации характеристик ИКС и их элементов вне традиционных принципов разделения передаваемой информации на услуги связи (информатизации). Указанная недостаточность проявляется, прежде всего, в конструктивной незавершенности и узкой специализации инструментария анализа и синтеза систем обработки и передачи информации, представленной в виде отдельных модальностей и их комбинаций.

Преодоление указанных противоречий требует разработки конструктивной *теории*, которая может стать системно-объединяющей основой для различных методов, позволяющих с единых методологических позиций оценивать существующее положение дел в предметной области и исследовать предлагаемые системотехнические решения по построению ИКС, оперирующих модальностями. Прагматической стороной такой теории должна стать возможность обосновывать предложения по оптимизации характеристик полимодальных средств информационного взаимодействия субъектов ИнфП относительно специфики их деятельности.

**Объектом исследования** являются полимодальные инфокоммуникационные системы.

**Предмет исследования** – полимодельное описание, методы, алгоритмы, методики решения задач построения ИКС, в том числе систем обработки и передачи информации, представленной в виде отдельных модальностей и их комбинаций.

**Целью исследования** является разработка теоретических основ, комплекса моделей и метода синтеза полимодальных инфокоммуникационных систем для обеспечения субъектов информационного пространства информацией требуемого качества.

**Научная проблема:** разработка элементов теории построения ПИКС и метода их синтеза, позволяющего в одном оптимизационном цикле как обосновывать физическую структуру системы, так и определять параметры образующих ее элементов.

Сформулированная проблема предусматривает решение следующих **частных научных задач:**

1) системный анализ проблемы обеспечения субъектов ИнфП информацией требуемого качества;

2) разработка основополагающих принципов, приемов и способов построения и применения ПИКС;

3) разработка новых комплексных подходов к моделированию и постановкам задач синтеза физической структуры ПИКС;

4) разработка подходов к решению задач построения ПИКС, различающихся степенью детализации проекта и размерностью моделей, составом системы ограничений и критериями, способов задания стартовой точки оптимизации характеристик;

5) разработка методологического и алгоритмического обеспечения проектирования полимодальных систем для различных применений;

6) разработка предложений по технической реализации и использованию ПИКС;

7) систематизация и оценка результатов исследований по проблеме организации полимодального коммуникативного взаимодействия субъектов ИнфП с оценкой эффективности его использования в различных инфокоммуникационных приложениях.

**Научная новизна** работы обусловлена тем, что в ней:

1) впервые предложен **комплексный подход и методология решения проблемы обеспечения субъектов ИнфП информацией требуемого качества** в условиях отказа от предоставления традиционных услуг связи в пользу применения многомодальных абонентских терминалов. *В отличие от известных теоретических результатов* в диссертации проведено обобщение и развитие теоретических и методологических основ построения ПИКС, с помощью которых удалось, во-первых, учесть текущие потребности субъектов ИнфП в инфокоммуникационном взаимодействии и доступе к информационным ресурсам, во-вторых, осуществить анализ и синтез облика ПИКС, обеспечивающего сбор, обработку, хранение, защиту, передачу и распределение, отображение и использование информации требуемого качества;

2) разработана **иерархическая система моделей ПИКС**, имеющих различные назначение и степень детализации и реализующих комбинирование структурно-функционального и функционально-структурного подходов к синтезу систем. Впервые разработана **концептуальная модель ПИКС**, позволяющая определить взаимосвязи выполнения альтернативных функций (задач) ПИКС, исходя из требований,

предъявляемых субъектом ИнфП. Получены *аналитические выражения* для вычисления внешнего параметра, характеризующего качество кодирования сообщений различных модальностей, и скорости передачи полимодальной информации. Установлена *однозначная взаимосвязь ценности информации с ее целостностью*;

3) предложен многоэтапный итерационный **метод синтеза полимодальной инфокоммуникационной системы**, базирующийся на иерархической системе моделей. Снижению вычислительной сложности метода способствуют процедуры оптимизации на концептуальной модели. Впервые в предметной области задача синтеза физической структуры ПИКС после применения концептуальной модели представлена композицией задач оптимизации физической структуры СПД, структуры программно-математического и информационного обеспечения, структуры управления и функциональной структуры АТ;

4) **разработаны методики решения частных задач синтеза элементов полимодальных систем** для различных приложений. Предложена *методики синтеза структуры программно-математического и информационного обеспечения*, обеспечивающая выполнение требований к ПИКС по своевременности и быстродействию. Предложена *методика выбора аппаратно-программных средств АТ ПИКС*, обеспечивающая в рамках функционально-структурного подхода улучшение технических характеристик и снижение стоимости элементов (подсистем) средств инфокоммуникационного взаимодействия субъектов ИнфП;

5) произведена **модификация известного инструментария синтеза топологической, потоковой, протокольной и физической структур СПД** в направлении более полного учета специфики передачи информации в виде сигналов модальностей. При этом использованы понятие единицы канального ресурса и формализмы, оперирующие в пространстве пропускной способности каналов и трактов, свободные от фиксированных размеров производительности типовых каналов и трактов традиционных транспортных технологий.

**Практическую ценность работы** определяют экспериментально проверенные на физических и имитационных моделях конструктивные предложения по использованию полученных результатов исследований в существующем и разрабатываемом оборудовании ИКС. Разработаны и запатентованы способы и устройства для полимодальных систем, созданы программные продукты количественного обоснования, принятия проектных решений в системе управления ПИКС, а также реализации отдельных полимодальных услуг.

**Методы исследования.** Для решения поставленных задач в работе использованы методы системного анализа, декомпозиции и агрегирования, исследования операций, теории информации, теории вероятностей, теории множеств, отношений и мер, теории графов, нечеткой логики, теории планирования эксперимента, теории оптической связи, а также методы многокритериального выбора, цифровой обработки сигналов, статистического и корреляционного анализа.

Решение сформулированной проблемы и обобщение полученных научных результатов определило следующие **положения, выносимые на защиту**:

1. Общие методологические принципы построения полимодальных инфокоммуникационных систем.

2. Иерархическая система моделей полимодальных инфокоммуникационных систем и их элементов.

3. Метод синтеза (оптимизации характеристик) полимодальной инфокоммуникационной системы.

4. Методики, алгоритмы и результаты решения частных задач синтеза элементов полимодальных систем для различных приложений.

5. Предложения по практическому применению метода, методик, алгоритмов и результатов решения частных задач оптимизации для обеспечения субъектов информационного пространства информацией требуемого качества.

**Обоснованность и достоверность** научных положений, основных выводов и результатов диссертации обеспечивается за счет всестороннего анализа состояния исследований в предметной области, согласованности теоретических выводов с результатами экспериментальной проверки предложенных моделей, а также апробацией основных теоретических положений диссертации в печатных трудах и докладах на российских и международных научных и научно-практических конференциях.

**Апробация результатов работы.** Основные результаты работы докладывались и обсуждались в период с 2003 по 2016 годы на 16 международных, 13 Всероссийских, а также на 8 межведомственных, межвузовских, ведомственных и региональных конференциях, в том числе: III Всероссийской научной конференции «Проблемы создания и развития информационно-телекоммуникационной системы специального назначения» (Орел, 2003); VI, VII, IX, X Международной конференции «Цифровая обработка сигналов и ее применение» (Москва, 2004, 2005, 2007 и 2008 гг.); IV Всероссийской научной конференции «Проблемы совершенствования и развития специальной связи и информации, предоставляемой государственным органам» (Орел, 2005); III и IV межвузовской научно-практической конференции «Перспективы развития средств связи в силовых структурах, обеспечение информационной безопасности в системах связи» (Голицыно, 2007 и 2008 гг.); 32-й, 33-й и 34-й Всероссийской научно-практической конференции «Сети, системы связи и телекоммуникации» (Рязань, 2007, 2008 и 2009 гг.); VIII и X межведомственной научно-технической конференции "Научно-техническое и информационное обеспечение деятельности спецслужб" (Москва, 2010 и 2012 гг.); V и VI Международной научно-технической конференции «Информационные технологии в науке, образовании и производстве» (Орел, 2012 и 2014 гг.); первой Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы и перспективы развития радиотехнических и инфокоммуникационных систем» (Москва, 2013 г.); 55-й Всероссийской научной конференции «Современные проблемы фундаментальных и прикладных, естественных и технических наук в современном информационном обществе» (Москва, 2013 г.); Всероссийской научно-технической конференции «Теоретические и прикладные проблемы развития и совершенствования автоматизированных систем управления военного назначения» (Санкт-Петербург, 2013 г.); Международной конференции «Речь и компьютер» (Плызень, Афины, 2014 и 2015 гг.); IX Всероссийской межведомственной научной конференции «Актуальные направления развития систем охраны, специальной связи и информации для нужд государственного управления» (Орел, 2015); 9-й научно-практической конференции «Проблемы и



перспективы совершенствования охраны Государственной границы» (Калининград, 2015 г.); 8-й Международной конференции ruSMART (Санкт-Петербург, 2015 г.); 18-й Международной научной конференции «Распределенные компьютерные и телекоммуникационные сети: управление, вычисление, связь (DCCN-2015)» (Москва, 2015 г.) и др.

**Публикации.** Основные положения диссертации опубликованы в 55 печатных работах, включая 25 публикации в рецензируемых научных изданиях из перечня Минобрнауки РФ, 5 публикаций в зарубежных изданиях, входящих в системы Web of Science/Scopus. По результатам исследования изданы монография, 4 учебных пособия (в соавторстве), получено 27 патентов на изобретение, а также 8 свидетельств о государственной регистрации программы для ЭВМ.

**Реализация результатов работы.** Основные результаты исследований диссертации реализованы в 17 НИР, внедрены в деятельность ряда практических подразделений Спецсвязи ФСО России, используются производителями и разработчиками систем связи и инфокоммуникационных услуг (ООО «Стэл КС», ООО «Онгнет», филиал ФГУП ЦНИИС – ЛО ЦНИИС, ФГБУН СПИИРАН), использованы в учебном процессе Академии ФСО России и Санкт-Петербургского национального исследовательского университета информационных технологий, механики и оптики, что подтверждается соответствующими актами.

**Личный вклад автора** в основных публикациях с соавторами кратко характеризуется следующим образом: в публикациях [3, 5, 17, 30, 37] проанализированы и систематизированы особенности межличностной коммуникации пользователей, в том числе привилегированных абонентов органов государственной власти, предложена оригинальная идея применения многомодальных абонентских терминалов для инфокоммуникационного обеспечения субъектов ИнфП; в [1, 4, 6, 13, 15, 19, 20, 25, 31] разработаны формализмы, описывающие процессы обработки, передачи, синхронизации, приема и комбинирования сигналов различных модальностей в абонентских терминалах и обслуживания соответствующих им блоков данных в сети передачи данных; в [2, 8, 11, 18, 27, 32, 34, 36] – подходы к редукции нового объекта – ПИКС, а также методики, алгоритмы и результаты решения частных задач синтеза элементов полимодальных систем в различных приложениях; в [7, 26] разработаны подходы к оценке эффективности информационной инфраструктуры в условиях отказа от предоставления традиционных услуг связи в пользу применения у субъектов ИнфП многомодальных абонентских терминалов; в [22, 25] предложен метод синтеза (оптимизации характеристик) распределенной ПИКС, позволяющий синтезировать физическую структуру системы, а также определять параметры составляющих ее физических модулей; в [9, 10, 12, 16, 21, 23, 24, 28, 29, 33, 35, 36, 38-54] разработаны предложения по практическому применению результатов проведенных исследований для обеспечения субъектов ИнфП информацией требуемого качества; в [14] осуществлено формально-математическое описание общих методологических принципов построения полимодальных ИКС.

**Структура и объем работы.** Диссертационная работа изложена на 292 страницах машинописного текста, содержит 78 иллюстраций и 19 таблиц, состоит из введения, четырех разделов, заключения, списка литературы (293 наименования).

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** дана общая характеристика работы, обоснована ее актуальность, проведен анализ исследуемой научной проблемы и обоснован подход к ее решению, сформулированы цель и задачи диссертационного исследования, определена научная новизна и практическая ценность полученных результатов, приведены основные положения, выносимые на защиту, и сведения об апробации, публикациях и реализации результатов работы.

**В первом разделе** представлены системные выводы из анализа обеспеченности субъектов ИнфП информацией требуемого качества. Выделены проблемы построения и эксплуатации ИКС, вытекающие, с одной стороны, из особенностей межличностной коммуникации субъектов ИнфП и их влияния на структуру и функционирование ИКС, а с другой стороны, из сложившихся подходов к моделированию и решению задач по их анализу и синтезу. На основе структуризации выявленных проблем теории и практики выдвинута идея построения ИКС нового типа вне принципов предоставления традиционных услуг связи и информатизации, сформулирована концепция исследований, обоснована необходимость комплексного применения структурно-функционального и функционально-структурных подходов для описания предметной области, производится формальная постановка общей проблемы синтеза полимодальных ИКС.

Системный анализ основных этапов и современного состояния информатизации общества показал, что деятельность субъектов ИнфП часто осуществляется в условиях больших объемов поступающей информации и высоких психологических нагрузок, а значимость сведений, циркулирующих в соответствующих информационных инфраструктурах, постоянно возрастает. Следовательно, в ходе общения через технические средства коммуникации субъекты ИнфП должны испытывать максимальную степень доверительности и безопасности, такие же, как при личном контакте.

Анализ современных достижений науки и техники в области создания многомодальных абонентских терминалов (АТ) показал, что снижению или устранению технических барьеров информационного взаимодействия субъектов будет способствовать переход от предоставления им традиционных услуг связи к передаче и приему сигналов различных модальностей. Интеграция на уровне принятия решения семантически различной информации, передаваемой по разным коммуникативным каналам, обеспечивает возможность реализации услуг более высокого уровня, названных в рамках разработанной теории «*полимодальными*». Отказ от принципов предоставления традиционных услуг связи позволяет при тех же затратах ресурсов информационной инфраструктуры передавать между субъектами ИнфП в модальном представлении целый комплекс полезных сведений. Уже на базе существующих АТ показана возможность применения стенографирования передаваемых текстовых и речевых сообщений, информационного поиска по передаваемым сообщениям, идентификации абонентов (в том числе в условиях отклонения их психофизиологического состояния от нормального), мониторинга активности абонента, определения степени алкогольной интоксикации собеседника, оценки истинности сообщаемой информации и управления внешними объектами.

Преодоление системных противоречий *практики* требует постановки и решения частной проблемы несогласованности режимов функционирования АТ субъектов ИнфП и СПД, слабой адаптируемости элементов СПД к изменениям требований пользователей к номенклатуре и качеству услуг (качеству предоставляемой информации).

Взгляд на решение выявленных проблем практики с более высокого уровня обобщения потребовал исследования существующих подходов к оптимизации характеристик ИКС в общем. Это позволило выявить проблемы теории, обусловленные отсутствием как средств количественного описания свойства полимодальности, так и решения задач моделирования процессов обслуживания сигналов различной модальности, а также задачи синтеза структуры ИКС вне традиционных принципов предоставления услуг связи (информатизации). Следовательно, имеет место отставание теории построения ИКС от потребностей практики и современного уровня развития многомодальных интерфейсов и сетевых технологий. Для решения сформулированных проблем *теории* выбран путь совершенствования подходов к моделированию, постановкам и решению задач синтеза ИКС в направлении более полного учета возможностей современных инфокоммуникационных технологий по передаче сигналов различных модальностей.

*Общая проблема исследования* сформулирована как проблема синтеза физической структуры ИКС нового типа – *полимодальной*. В ней выделено два условно-автономных объекта исследования: СПД и множество АТ. Последние преобразуют информацию от различных сенсорных систем пользователя к виду, удобному для передачи по СПД в виде блоков данных, и формируют на основе получаемых блоков данных воздействия на сенсорные системы субъекта ИнфП с учетом его требований к качеству предоставляемой информации. Под *физической структурой* АТ понимается совокупность технической, функциональной (технологической) структур и структуры программно-математического и информационного обеспечения (ПМИО), а под *физической структурой сети* – совокупность топологической (в абстрактном и географическом смысле), потоковой и протокольной структур сети.

Для моделирования структур АПСС (АТ) и СПД (трактов передачи БД) традиционно используются графы вида  $G(A, B, I_G)$  с множеством вершин  $A = \{a_i\}$ ,  $i = 1, \dots, N_y$ , соответствующих узлам сети или элементам (подсистемам) АПСС ( $N_y$  – число узлов), множеством ребер  $B = \{b_{ij}\}$ ,  $i, j = 1, \dots, N_y$ , соответствующих линиям связи, и связностью  $I_G$ . Для графа *технической структуры* АПСС  $G_{\text{ТЕХН}}(A, B, I_G)$  дополнительно задаются взаимное расположение узлов  $a_i$  в виде координат  $\{x_i, y_i\}$  и конструктивное исполнение отдельных узлов и блоков средства. *Функциональная структура* АПСС представляет собой ориентированный граф  $G_{\text{ФУНКЦ}}(A, B)$ , вершинами  $A$  которого являются наименования элементов изделия или физических операций, а ребрами  $B$  – функциональные связи между ними. *Структура ПМИО* конкретизирует  $G_{\text{ПМИО}}(AL, B)$  и характеризует отдельные задачи, решаемые элементами и подсистемами АПСС, и порядок их выполнения. Элементарные алгоритмические звенья  $AL = \{al_i\}$  преобразования информации  $B = \{b_{ij}\}$  на разных этапах функционирования АПСС соответствуют какой-либо одной математической или логической операции. Для графа *топологии* СПД  $G_{\text{ТОП}}(A, B, I_G)$  дополнительно задаются географическое местоположение узлов  $a_i$  в виде координат  $\{x_i, y_i\}$  и конфигурация линий передачи. Граф *потоковой структуры*  $G_{\text{ПОТОК}}(A, B, U)$  СПД отражает план распределения информации корреспондирующих пар узлов по элементам сети.

*Протокольная структура* СПД конкретизирует  $G_{\text{ПРОТ}}(A, B, U)$  относительно реализуемых режимов переноса, видов линейного кодирования и методов повышения достоверности передачи и т.п. *Физическая структура*  $G_{\text{Ф}}(A, B, AL, U, \Phi)$  объединяет в эмергентную модель перечисленные выше страты, конкретизируя внутренние и внешние ФХ ПИКС с учетом физически существующих модулей  $\Phi \subseteq \Phi^{\text{доп}}$ , составляющих функционально-ресурсную базу проектирования ИКС.

Тогда *проблема синтеза физической структуры ПИКС* состоит в оптимальном выборе узлов сети, элементов (подсистем) АПСС и взаимосвязей между ними, вариантов реализации функций (задач) и их распределения по узлам системы, обеспечивающем максимальную стабильность обслуживания субъектов ИнфП за счет адаптации функциональных характеристик (ФХ) ПИКС к изменяющимся требованиям пользователей к требуемому набору обрабатываемых модальностей с минимальными затратами ресурсов СПД.

Для формального описания проблемы синтеза физической структуры ПИКС введены следующие множества: множество требований  $T = \{t_n\}$ ,  $n = \{1, \dots, N\}$  пользователей к ПИКС, на удовлетворение которых направлено множество  $S = \{s_m\}$ ,  $m = \{1, \dots, M\}$  услуг, реализуемых с использованием инфокоммуникационных ресурсов  $R = \{r_c\}$ ,  $c = \{1, \dots, C\}$ ; множество  $D = \{d_h\}$ ,  $h = \{1, \dots, H\}$  устройств ввода/вывода сигналов различных модальностей, доступных пользователю; множество задач  $i = \{1, \dots, I\}$  (этапов  $z = \{1, \dots, z_i\}$ ) ПИКС и их вариантов  $k = \{1, \dots, K\}$ ; множество преобразований  $W = \{w_o\}$ ,  $o = \{1, \dots, O\}$ , выполняемых при реализации услуг; множества потоков естественных  $NS = \{ns_u\}$ ,  $u = \{1, \dots, U\}$  и искусственных  $AS = \{as_e\}$ ,  $e = \{1, \dots, E\}$  сигналов, использующихся для анализа входных  $IM = \{IM_1, IM_2, \dots, IM_{N_{IM}}\}$  и синтеза выходных  $OM = \{OM_1, OM_2, \dots, OM_{N_{OM}}\}$  модальностей; множество вариантов реализации интерфейсов  $NM = \{IM_1 OM_1, IM_1 OM_2, \dots, IM_1 OM_{N_{OM}}, \dots, IM_1 \dots IM_{N_{IM}} OM_1 \dots OM_{N_{OM}}\}$ , формируемое за счет комбинации входных и выходных модальностей; множество  $\Delta_\alpha = \{\alpha = \langle mm, mo, al, ap \rangle \mid mm \in MM, mo \in MO, al \in AL, ap \in AP\}$  допустимых системотехнических решений, включающее подмножества математических моделей  $MM$ , математических методов  $MO$ , алгоритмов  $AL$  и программно-аппаратных реализаций  $AP$  услуг; множество узлов структуры ПМИО системы  $j = \{1, \dots, J\}$  и вариантов их построения  $p = \{1, \dots, P_j\}$ ; множество  $TA_a = \{ta_a\}$ ,  $a = \{1, \dots, N_a\}$  АППС различных ( $N_a$ ) типов, отличающихся стоимостью  $\{c_a^y\}$ , производительностью  $\{B_a^y\}$ , коэффициентом готовности  $\{K_{ra}^y\}$ , интенсивностью восстановления  $\{\mu_a^y\}$ ; множество  $TS_b = \{ts_b\}$ ,  $b = \{1, \dots, N_b\}$  сетевых трактов различных ( $N_b$ ) типов, различающихся пропускной способностью  $\{B_b^T\}$ , функцией стоимости  $\{c_b^T\}$ , коэффициентом готовности  $\{K_{rb}^T\}$ , интенсивностью восстановления  $\{\mu_b^T\}$ ; множество  $TO_s = \{to_s\}$ ,  $s = \{1, \dots, N_s\}$  обеспечивающих подсистем СПД различных ( $N_s$ ) типов, в том числе источников синхросигналов,

пунктов управления, пунктов технического обеспечения, различающихся годовыми расходами по содержанию  $\{c_s\}$  и функциональной принадлежностью;

$G = \{G_\chi, \chi \in ST\}$  – множество возможных типов структур как АПСС ( $G_{\text{ТЕХН}}$ ,  $G_{\text{ФУНКЦ}}$ ,  $G_{\text{ПИМО}}$ ,  $G_{\text{ТУ}}$ ), так и СПД ( $G_{\text{ТОП}}$ ,  $G_{\text{ПОТОК}}$ ,  $G_{\text{ПРОТ}}$ ) ПИКС. Для связи перечисленных множеств друг с другом введен системный динамический альтернативный мультиграф

$$G_\chi^t = \langle X_\chi^t, F_\chi^t, Z_\chi^t \rangle, \quad (1)$$

где  $\chi$  – индекс, характеризующий тип структуры ПИКС,  $\chi = \{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7\}$ ;  $t \in T$  – множество моментов времени;  $X_\chi^t = \{x_{\chi l}^t, l \in L_\chi\}$  – множество элементов, входящих в состав структуры  $G_\chi^t$  в момент времени  $t$ ;  $F_\chi^t = \{f_{\langle \chi, l, l' \rangle}^t, l, l' \in L_\chi\}$  – множество дуг мультиграфа типа  $G_\chi^t$ , отражающих взаимосвязи между его элементами в момент времени  $t$ ;  $Z_\chi^t = \{z_{\langle \chi, l, l' \rangle}^t, l, l' \in L_\chi\}$  – множество значений параметров, количественно характеризующих взаимосвязь соответствующих элементов мультиграфа.

Тогда *теоретико-множественное описание* исследуемой проблемы может быть представлено следующим образом: необходимо разработать принципы, подходы, модели, методы, методики и алгоритмы, позволяющие находить такие  $\langle U^t, S_{\delta^*}^{t_f} \rangle$ , при которых выполняются следующие условия

$$J_\theta \left( X_\chi^t, F_\chi^t, Z_\chi^t, M_{\langle \chi, \chi' \rangle}^t, \Pi_{\langle \tilde{\delta}, \tilde{\delta} \rangle}^t, t \in (t_0, t_f] \right) \rightarrow \underset{\langle U^t, S_{\delta^*}^{t_f} \rangle \in \Delta_g}{extr}, \quad (2)$$

$$\Delta_g = \left\{ \langle U^t, S_{\delta^*}^{t_f} \rangle \mid R_\beta \left( X_\chi^t, F_\chi^t, Z_\chi^t, M_{\langle \chi, \chi' \rangle}^t, \Pi_{\langle \tilde{\delta}, \tilde{\delta} \rangle}^t \right) \leq \tilde{R}_g; U^t = \Pi_{\langle \delta_1, \delta_2 \rangle}^{t_1} \circ \Pi_{\langle \delta_2, \delta_3 \rangle}^{t_2} \circ \Pi_{\langle \delta, \delta \rangle}^{t_3}; \beta \in \mathbf{B} \right\},$$

где  $U^t$  – управляющие воздействия, позволяющие синтезировать как структуры ПИКС, так и процессы функционирования ее элементов;  $S_{\delta^*}^t \subseteq X_1^t \times X_2^t \times X_3^t \times X_4^t \times X_5^t \times X_6^t$  – многоструктурное состояние ПИКС;  $J_\theta$  – стоимостные, временные, ресурсные показатели, характеризующие качество функционирования ПИКС;  $\Delta_g$  – множество динамических альтернатив (множество  $G_\chi$  структур ПИКС, их параметров  $Z_\chi^t$ );  $\mathbf{B}$  – множество номеров пространственно-временных, технических и технологических ограничений, определяющих процессы обработки и передачи информации, представленной в виде отдельных модальностей и их комбинаций;  $\tilde{R}_g$  – заданные величины;  $T = (t_0, t_f]$  – интервал времени, на котором синтезируются как структуры, так и облик ПИКС.

Показано, что в качестве показателей  $J_\theta$  качества функционирования ПИКС на этапах синтеза ее различных структур целесообразно использовать удельную себестоимость средств обработки информации:

$$\zeta^{\text{ИНФ}} = V^{\text{ИНФ}} / C_{\text{пр}}^{\text{ИНФ}} = (\text{Пр}^{\text{ИНФ}} \cdot \text{Б}^{\text{ИНФ}} \cdot \text{Ц}^{\text{ИНФ}}) / C_{\text{пр}}^{\text{ИНФ}}; \quad (3)$$

и удельную себестоимость СПД:

$$\zeta^{\text{СПД}} = V^{\text{СПД}} / C_{\text{пр}}^{\text{СПД}} = (\text{Пр}^{\text{СПД}} \cdot \text{Б}^{\text{СПД}} \cdot \text{Т}^{\text{СПД}}) / C_{\text{пр}}^{\text{СПД}}; \quad (4)$$

где  $V^{\text{ИНФ}}$  и  $V^{\text{СПД}}$  – гипотетический объем обрабатываемой информации в АТ и СПД соответственно;  $C_{\text{пр}}^{\text{ИНФ}}$  и  $C_{\text{пр}}^{\text{СПД}}$  – допустимые приведенные затраты на построение и

эксплуатацию средств обработки информации и СПД соответственно;  $B^{\text{ИНФ}}$  и  $B^{\text{СПД}}$  – быстродействие обработки и передачи информации соответственно;  $\text{Пр}^{\text{ИНФ}} = \sum_{w=1}^W B_w$  – производительность источника информации;  $B_w$  – скорость выдачи информации  $w$ -м источником (сигналы различной природы – для традиционных ИКС, модальности – для ПИКС);  $W$  – число таких источников;  $\text{Ц}^{\text{ИНФ}}$  – целостность информации (ее свойство обладать требуемыми *полнотой* и *достоверностью*, необходимыми для функционирования ПИКС в соответствии с ее целевым назначением);  $\text{Пр}^{\text{СПД}} = \sum_{k=1}^K U_k$  – производительность СПД;  $U_k$  – ресурс пропускной способности для сообщений  $k$ -го типа;  $K$  – число одновременно передаваемых сообщений (поток БД), а целостность  $\text{Ц}^{\text{СПД}}$  полностью определяется точностью передачи данных.

Обобщенный показатель (3), с одной стороны, включает в себя все основные показатели качества информации, с другой – все его компоненты взаимосвязаны между собой, но одного или двух из них недостаточно для системного отражения свойств ПИКС. С учетом введенных обозначений и принятой декомпозиции ПИКС очевидно, что указанные показатели качества функционирования ПИКС зависят от множества  $G_\chi$  структур ПИКС, их параметров  $Z_\chi^t$  и инфокоммуникационных ресурсов  $R_\chi^t$ , выделяемых для структуры  $\chi$  в момент времени  $t$

$$\zeta^{\text{ИНФ}} = F_1 \left\{ R_\chi^t, X_\chi^t, F_\chi^t, Z_\chi^t, M_{\langle \chi, \chi' \rangle}^t, \Pi_{\langle \tilde{\delta}, \tilde{\delta} \rangle}^t \right\} \text{ для } \chi = \{1, 2, 3, 4\}, \quad (5)$$

$$\zeta^{\text{СПД}} = F_2 \left\{ R_\chi^t, X_\chi^t, F_\chi^t, Z_\chi^t, M_{\langle \chi, \chi' \rangle}^t, \Pi_{\langle \tilde{\delta}, \tilde{\delta} \rangle}^t \right\} \text{ для } \chi = \{5, 6, 7\}, \quad (6)$$

где  $F_1$  – функционал удельной себестоимости средств обработки информации (3);  $F_2$  – функционал удельной себестоимости СПД (4).

При заданных ФХ *производительности* и *своевременности* АТ ключевым показателем удельной себестоимости информации, обеспечиваемой средством обработки, будет являться ее *целостность*:

$$\text{Ц}^{\text{ИНФ}} = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M x_m^{\text{ОУ}} D_m, \quad (7)$$

где  $M$  – минимально необходимое число ОУч,  $D_m$  – достоверность оценки состояния  $m$ -го ОУч, а  $m$ -й показатель полноты определяется как

$$x_m^{\text{ОУ}} = \begin{cases} 1, & \text{если содержится объект учета;} \\ 0 & \text{– в противном случае.} \end{cases}$$

Следовательно, при заданной физической структуре СПД и ограничении приведенных затрат на обработку информации  $C_{\text{пр}}^{\text{ИНФ}} \leq C_{\text{пр}}^{\text{ИНФ доп}}$  степень обеспечения *целостности информации* (7) будет определять *внешнюю эффективность* ПИКС.

Необходимость согласования производительностей источника информации (АТ) и СПД обусловила целесообразность введения единицы канального ресурса (ЕКР):

$$\kappa = \text{НОД}(B_1, \dots, B_J, U_1, \dots, U_K). \quad (8)$$

Следовательно, доля ЕКР, задействованных для передачи полезной (пользовательской) информации в общем ресурсе, затраченном СПД, может быть использована в качестве показателя *внутренней эффективности* ПИКС.

Известные методологии программно-целевого подхода позволяют общую проблему исследования представить в виде двух основных *частных оптимизационных задач*.

*Прямая.* Имеются сведения об объемах сообщений  $B_w$ ,  $w = 1 \dots W$  (наборе модальностей), которые нужно передать. Требуется определить объем ресурсов СПД  $\text{Pr}^{\text{СПД}}$ , чтобы обеспечить требуемую целостность переданной информации  $\text{Ц}^{\text{ИНФ}} \geq \text{Ц}_{\text{ТРЕБ}}^{\text{ИНФ}}$ .

*Обратная.* Имеются заданные ресурсы СПД  $\text{Pr}^{\text{СПД}}$ . Требуется передать максимальный объем сообщений заданного качества  $D_w \left[ \left\{ \vec{A} \right\}, \left\{ \hat{A} \right\} \right] = \text{const}$  (в том числе с оптимальным выбором модальностей и методов их обработки), где  $D_w [ ]$  – мера искажений сообщений  $w$ -го источника.

Отличие поставленных задач синтеза от традиционных заключается в том, что шаг измерения параметров производительности физических модулей определяется не в "шагах квантования", обусловленных применением конкретной технологии СПД, а в унифицированной ЕКР. Этим, с одной стороны, обеспечивается инвариантность инструментария к технологии передачи. С другой, повышается число степеней свободы объекта исследования и повышается размерность соответствующих формализмов.

Задачи такого типа в предметной области не ставились и не решались. Это и явилось побудительным мотивом разработки элементов теории ПИКС, а также новых методов, методик и алгоритмов, обеспечивающих построение и эффективное функционирование ИКС нового типа без деления циркулирующей в ней информации на услуги связи (информатизации).

**Во втором разделе** на основе исходного теоретического базиса разрабатываются элементы теории построения ПИКС. Сформулированы общая и центральная гипотезы исследования и обоснованы принципы построения полимодальных ИКС. Выбранный путь решения проблем теории привел к разработке иерархической (мета-, макро- и субуровней) системы моделей ПИКС. Предложены математические модели входных и выходных сигналов ПИКС, сигналов различной модальности и полимодальных услуг, а также теоретико-множественная модель подсистемы кодирования сообщений различных модальностей.

Элементы теории ПИКС разрабатывались в рамках гипотетико-дедуктивного подхода. Общей проблеме настоящего исследования (2) соответствует выдвижение общей гипотезы исследования в следующей формулировке: *в изменяющемся информационном пространстве при одних и тех же требованиях к качеству информации и затратах материальных ресурсов полимодальная ИКС будет иметь большую удельную себестоимость, чем ИКС, ориентированные на предоставления комплекса традиционных услуг связи и информатизации.*

Принятая редукция ПИКС на СПД и АТ подразумевает использование следующей системы *основных допущений*.

1. Обработка модальностей и кодирование их параметров и/или результатов реализации полимодальных услуг осуществляется на конечных интервалах или выборках.

2. Разработка *специализированных средств отображения* АТ для субъектов ИнфП выходит за рамки настоящего исследования, ориентированного на существующие многомодальные АТ и АППС обеспечения безопасности информации.

3. Исходя из системно-технических факторов (в том числе экономических соображений или требований к информационной безопасности и надежности) метасистемой определено множество типонаминалов допустимых к применению АПСС и направляющих систем телекоммуникаций.

Представление ПИКС в виде двух типов макромодулей (АТ и СПД) в условиях идентифицируемости с заданной точностью ситуации в ИнфП, соответствует переходу от общей гипотезы к более простой – центральной гипотезе исследования: *в пределах контролируемых информационных и стоимостных ограничений при заданной физической структуре сети передачи данных полимодальная ИКС в режиме реального времени будет обеспечивать большую целостность информации, чем ИКС, ориентированные на предоставление традиционных услуг связи и информатизации.*

При эквивалентности характеристик СПД переход от макрообъекта "ПИКС" к множеству его АТ вызван необходимостью обеспечения проверяемости выдвинутой гипотезы. Если свойства и режимы функционирования СПД, составляющей транспортную основу ИКС каждого из типов, полностью идентичны, то отличия в обеспечении эффективности коммуникативного взаимодействия (предоставлении информации требуемого качества) будут определяться только различиями в ФХ АТ, а предлагаемый класс систем (ПИКС), отличается от существующего только способом представления информации, передаваемой и получаемой пользователями.

Полимодальное представление информации позволяет повысить информационный критерий эффективности АТ ПИКС, в качестве которого обоснована мера *ценности информации* – величина разности между вероятностями достижения цели ПИКС при отсутствии информации  $\Phi(X)$  и при получении  $i$ -го сообщения:

$$Z_i = \Phi_i(X) - \Phi(X) = \Phi_i(X) - \sum_{j=1}^n P_j \varphi(x_j), \quad (9)$$

где  $P_j$  – вероятность выбора  $j$ -го пути  $x_j$  достижения цели;  $\varphi(x_j)$  – вероятность достижения цели по пути  $x_j$ .

Установлено, что в ИКС, ориентированных на предоставление традиционных услуг связи и информатизации,  $i$ -е сообщение дает информацию о значениях  $\varphi(x_j)$  на всех  $n$  путях; отсутствуют механизмы, позволяющие однозначно определить данные значения, а ценность информации (рис. 1) имеет вид:

$$Z_i^{\text{II}}(X) = \varphi_{\max}(x_j) - \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \varphi(x_k). \quad (10)$$

В ПИКС  $i$ -е сообщение дает информацию о значениях  $\varphi(x_j)$  на  $M$  из  $n$  путях и не содержит информации об остальных  $(n - M)$  путях; имеется возможность определить значения  $\varphi(x_j)$ , а характеристика ценности

$$Z_i^{\text{III}} = \sum_{j=1}^M [\varphi(x_j)]^{r+1} + \frac{1}{n-M} \sum_{k=M+1}^n [\varphi(x_k)]^{r+1} - \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \varphi(x_k). \quad (11)$$



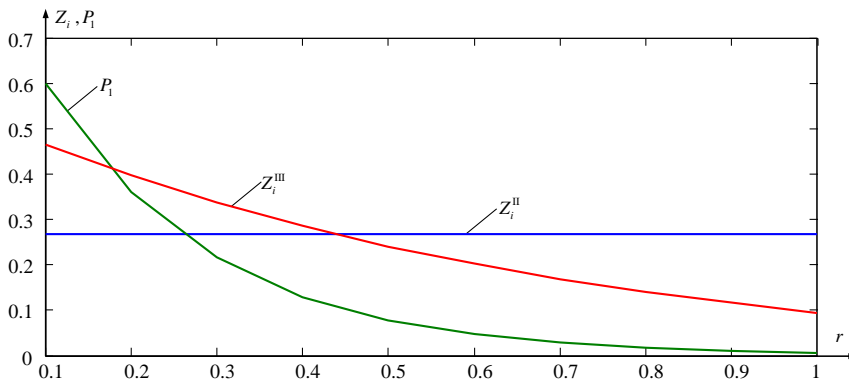


Рис. 1. Ценность информации в ИКС различного типа

Анализ зависимости вероятности достижения цели  $X$  от числа «используемых» абонентом модальностей  $N_{IM}$  позволяет сделать вывод о том, что при заданной вероятности выбора  $P_j$  канала коммуникации ( $j$ -го пути (путей)) вероятность  $\Phi_i(X)$  достижения цели

функционирования ПИКС возрастает с увеличением  $N_{IM}$ . При этом систему надо строить так, чтобы источники и пути обработки информации приносили сообщения о тех путях  $x_j$ , которые обеспечивают максимизацию  $\Phi_i(X)$ .

Таким образом, выражение (11) однозначно связывает ценность информации с ее целостностью и позволяет определить минимально необходимое число ОУч  $M = \min N_{IM}$  (6). При этом созданы предпосылки к выбору функциональных структур и сигналов, имеющих наиболее благоприятные информационные характеристики, а также установлению **основополагающих принципов** построения ПИКС:

*соответствия* состояния ПИКС ситуации в ИнфП, который требует при синтезе ПИКС обеспечить нахождение для каждой такой ситуации соответствующего состояния ИКС (требуемых комбинации модальностей и модели реализуемой услуги), оптимального с точки зрения целостности полимодальной информации;

*системности*, подразумевающий взаимообусловленность полимодальности АТ с характеристиками обеспечивающих подсистем ПИКС во всем спектре идентифицируемых условий коммуникативного взаимодействия;

*функциональной полноты*, требующий размещения в АТ ПИКС всех необходимых типов устройств ввода/вывода, физических модулей обработки сигналов и реализации услуг, а также соответствующих обеспечивающих подсистем;

*мультисервисности*, предусматривающий независимость технологий предоставления услуг от транспортных технологий;

*полимодальности*, подразумевающий комплексное использование моделей входных и выходных сигналов различных модальностей, кодирования и передачи полимодальной информации и полимодальных услуг;

*открытости архитектуры*, предполагающий возможность расширения числа идентифицируемых в ИнФП ситуаций с соответствующей доработкой АТ и транспортной инфраструктуры (сети передачи данных) при внедрении новых технологий и услуг;

*функциональной замкнутости*, состоящий в реализации полимодальности либо в системе в целом, либо в ее подсистеме;

*оперативной управляемости*, предписывающий необходимость средств реализации перераспределения нагрузки с выходов АТ на входы оконечного оборудования СПД по сигналам от системы управления или метасистемы;

*дифференцированности услуг и имеющихся ресурсов*, заключающийся в предварительных процедурах определения для каждой услуги величины ЕКР, классификации блоков данных по уровню требований (числу ЕКР, приоритетам, важности и

пр.) и имеющихся ресурсов по соответствию этим потокам (числу ЕКР, удельной себестоимости сети);

*децентрализации предоставляемых услуг (инвариантности доступа)*, предусматривающий их независимое функционирование, при котором отключение или перемещение одного из физических модулей не влияет на работу системы в целом;

*ассоциативности и толерантности обращения к информации*, предполагающий возможность быстрого получения необходимой информации независимо от объемов выборки;

*гарантированного доступа к контексту*, определяющий необходимость доступа субъекта ИнФП к контекстам других пользователей независимо от степени своей нагрузки или физической доступности;

*многооператорности*, предполагающий возможность участия нескольких операторов в процессе предоставления услуги и разделение их ответственности в соответствии с их областью деятельности;

*обратной связи*, предписывающий необходимость сообщать пользователям о действиях ПИКС, ее подсистем и элементов, их реакциях, изменениях состояния или ситуации, об ошибках и исключениях.

Реализация перечисленных принципов при синтезе ПИКС потребовала разработки *иерархической* (мета-, макро- и субуровней) *системы моделей ПИКС*. Основу системы составляют концептуальная и макро модель ПИКС, модель структуры ПМИО, модели сигналов различных модальностей, полимодальных услуг и модель кодирования полимодальной информации.

*Концептуальная модель ПИКС* (рис. 2,3) формируется проектировщиками системы и модернизируется специалистами организации-заказчика в ходе эксплуатации, а ее построение является предварительным этапом формализации математических моделей. В качестве управляющих факторов выбраны факторы 1-10, относящиеся к ПИКС и среде функционирования, в качестве целевых (23-29, 39-48) – в наибольшей степени характеризующие состояние ПИКС и ее цели.

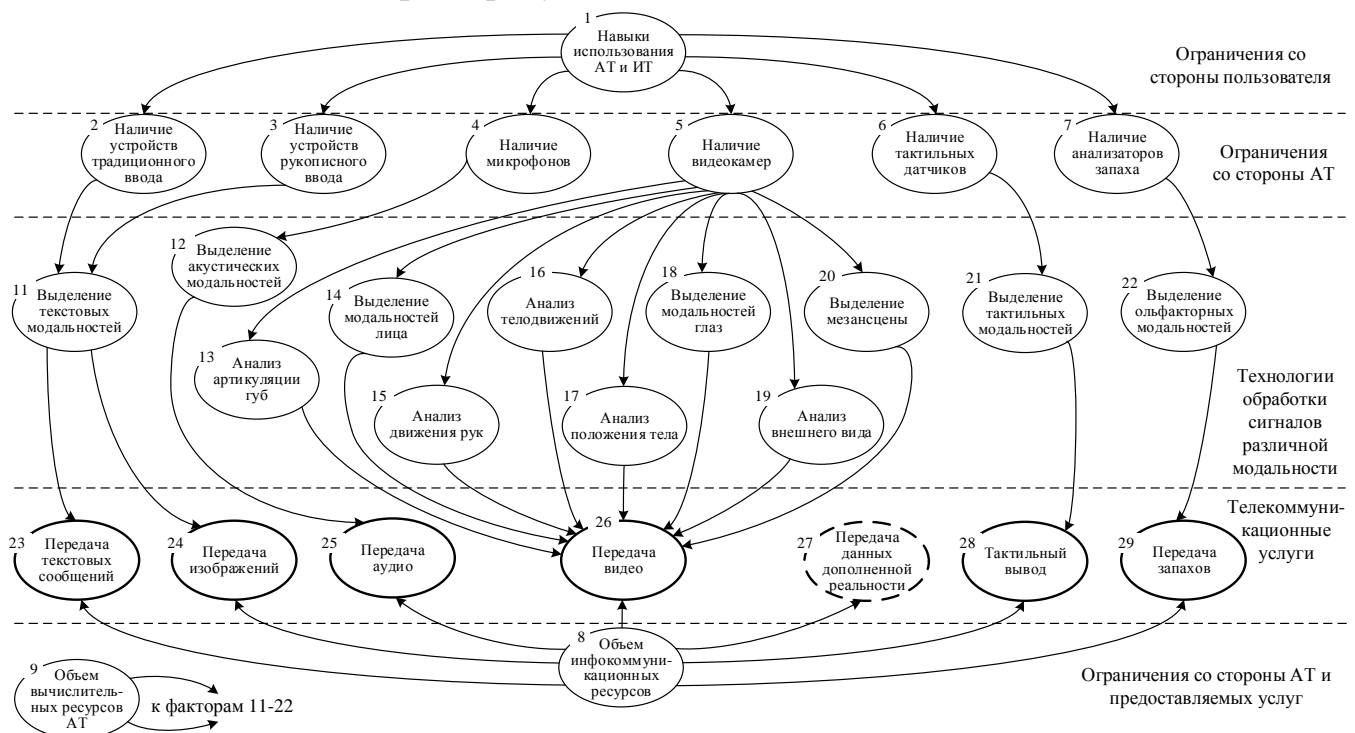


Рис. 2. Когнитивная модель реализации телекоммуникационных услуг ПИКС

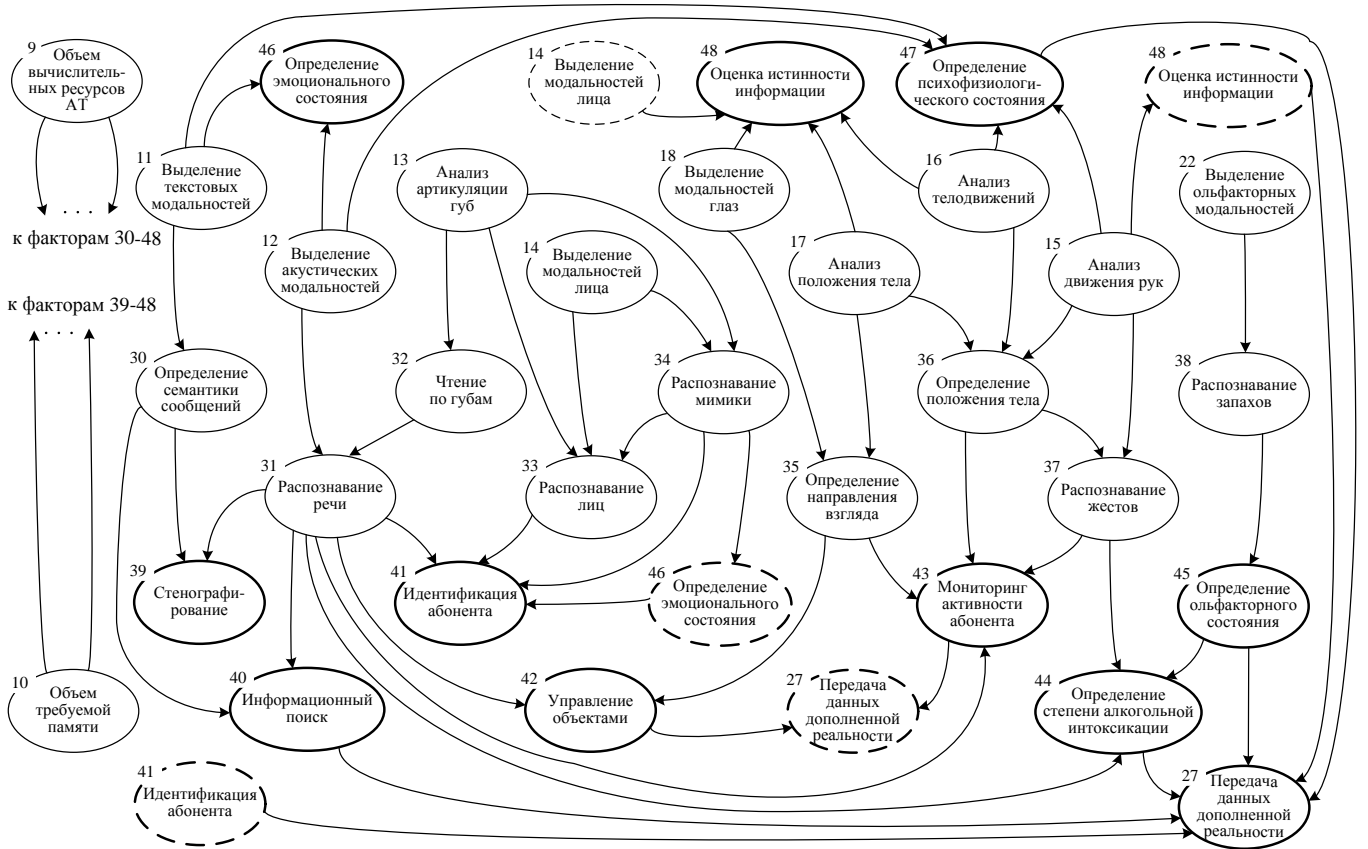


Рис. 3. Когнитивная модель реализации полимодальных услуг ПМКС

Каждому базисному фактору когнитивной модели присвоено значение, отражающее темп роста показателя, характеризующего объект, явление или процесс, ассоциированный с данным фактором (текущая тенденция изменения фактора). Для описания взаимовлияния базисных факторов использованы лингвистические переменные, на их основе формализована обобщенная матрица взаимовлияний базовых факторов.

Детализация концептуальной (мета-) модели ПМКС в рамках структурно-функционального подхода имеет высокую вычислительную сложность. Для преодоления связанных с этим методических трудностей было принято решение об использовании в настоящем исследовании глобального подхода и средств макро моделирования (рис. 4). Предложенный формализм позволил увязать воедино требования метасистемы, технические и функциональные характеристики процессов обработки информации, структурно-топологические и потоковые характеристики процессов передачи информации, структуру ПМИО АТ и параметры его подсистем.

Для формализации взаимосвязей между различными вариантами построения структуры ПМИО АТ использована альтернативно-графовая формализация, а задача ее синтеза представлена следующим образом:

$$\text{extr} \mathcal{R}_0 \left\{ \left( G_F^* \in G_F \right) \mathcal{R}^* \left( G_{\text{ПМИО}}^* \in G_{\text{ПМИО}} \right) \right\}, \quad (12)$$

$$\mathcal{R}_\eta \left\{ \left( G_F^* \in G_F \right) \mathcal{R}^* \left( G_{\text{ПМИО}}^* \in G_{\text{ПМИО}} \right) \right\}, \quad \eta = \overline{1, \eta_0}, \mathcal{R}^* \in \mathcal{R},$$

где  $G_{\text{ПМИО}}^* \in G_{\text{ПМИО}}$  – подграф, задающий один из возможных вариантов реализации узлов структуры ПМИО с их взаимосвязями;  $G_F$  – граф взаимосвязей выпол-

нения альтернативных функций ПИКС, определяемых по результатам концептуального моделирования;  $G_F^* \in G_F$  – подграф, задающий один из возможных вариантов реализации функций системы, которые представляются в виде совокупности взаимосвязанных задач, которые, в свою очередь, могут быть разбиты на последовательно выполняемые операции (этапы). При формализации взаимосвязей между функциями (задачами, этапами или операциями) могут учитываться взаимосвязи, отражающие либо порядок их следования (временные взаимосвязи), либо объем или поток обмениваемой информации между функциями без указания временных характеристик (объемные взаимосвязи);  $\mathfrak{R}$  – операция отображения графа  $G_F$  на  $G_{\text{ПМИО}}$ , определяющая распределение выполняемых системой функций по узлам структуры ПМИО;  $n_\eta (\eta = \overline{1, \eta_0})$  – характеристики качества создания и функционирования ПИКС.

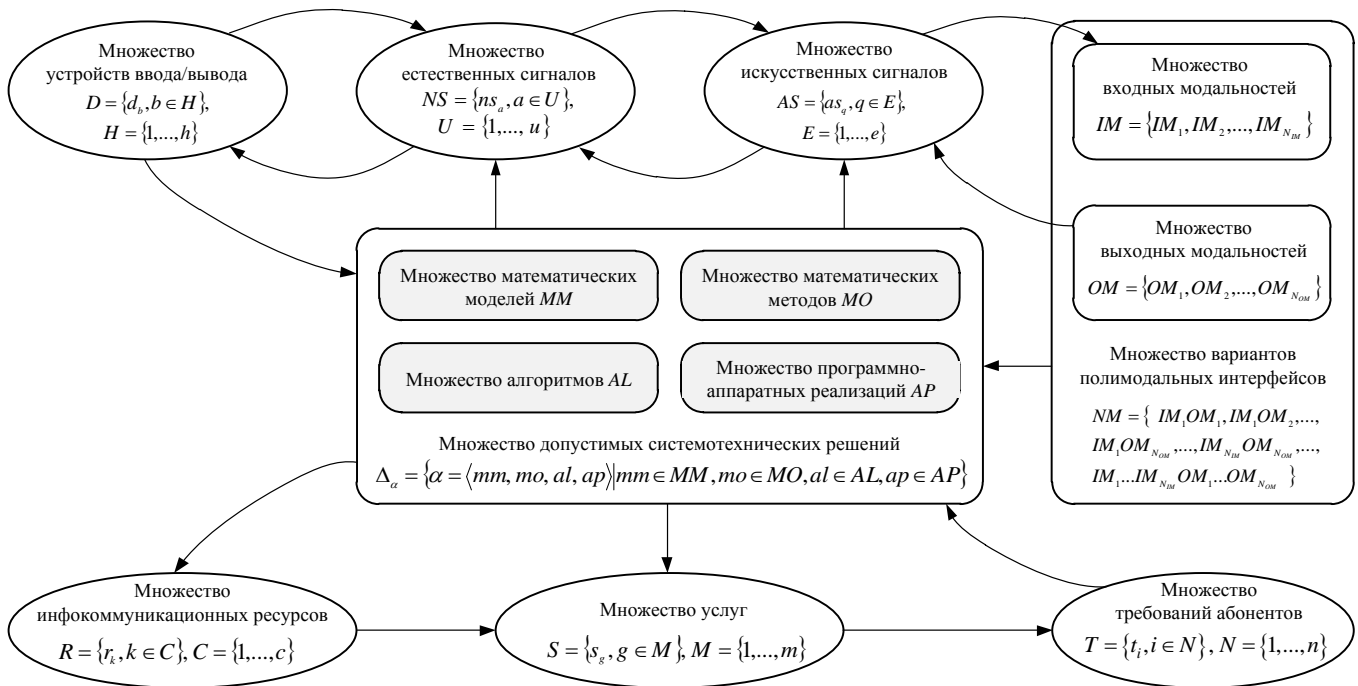


Рис. 4. Теоретико-множественная (макро-) модель ПИКС

Таким образом, задача синтеза структуры ПМИО АТ ПИКС состоит в таком отображении определенным образом сгруппированных задач по определенным образом сгруппированным узлам системы, при котором достигается экстремум критерия качества отображения при выполнении заданных ограничений. Показано, что указанная задача может быть решена методами целочисленного программирования.

Наличие соответствующих структурных альтернатив ПМИО обеспечивается решением задачи (12) для различных условий функционирования субъекта ИнфП и, в свою очередь, определяет полную комбинацию модальностей, допустимых в проектируемой системе. Определенная соподчиненность элементов структуры ПМИО позволяет считать ее граф  $G_{\text{ПМИО}}$  связным, а для управления ею использовать соответствующую систему, представляющую собой иерархическую структуру управляющих центров различного уровня, т.е. дерево, вершины которого являются некоторыми подмножествами  $AL = \{al_1 \dots al_j\} \in G_{\text{ПМИО}}$ ; корнем является  $f = AL$ ; множества

групп  $g_1, \dots, g_j$  на концах ребер, входящих в множество  $AL$ , удовлетворяют условиям  $g = g_1 \cup \dots \cup g_j$ ,  $g_i \cap g_t = \emptyset$ ,  $1 \leq i < t \leq j$ ; висячими вершинами являются одноэлементные подмножества  $AL$ .

Исходя из конкретной содержательной интерпретации элементов множества  $AL$  и управляющих центров, возможны различные ограничения на деревья, т.е. исследованию подлежит множество  $\Omega$  структур управления  $G_{\text{ТУ}} \in \Omega$  с заданным на нем функционалом  $P: \Omega \rightarrow [0; +\infty)$ . В качестве функционала стоимости рассмотрены следующие варианты:

$$P(C(g_1), \dots, C(g_j)) = [C(g_1) + \dots + C(g_j)]^\beta, \quad (13)$$

$$P(C(g_1), \dots, C(g_j)) = [C(g_1) + \dots + C(g_j) - \max(C(g_1), \dots, C(g_j))]^\beta, \quad (14)$$

где  $C(g) = \left( \sum_{al \in g} C(al)^{1/\alpha} \right)^\alpha$  – сложность группы – числовая характеристика организуемой группы, в качестве которой выступает вычислительный ресурс, необходимый для управления структурой  $G_{\text{ТУ}}$ ;  $\alpha \in (0, +\infty)$  – параметр сложности;  $\beta \in (0, +\infty)$  – параметр функционала. Задача синтеза структуры управления АТ ПИКС сформулирована как задача поиска оптимальной иерархии:  $\arg \min_{G_{\text{ТУ}} \in \Omega} P(G_{\text{ТУ}})$ .

*Модели сигналов различных модальностей* являются формализмами *субуровня*, предназначенными для описания естественных сигналов  $AS$  и сигналов отдельных модальностей  $IM$  и  $OM$  как множества точек  $\vec{A}_p \in \{R^P\}$  (пространство сообщений источника или модальности). Каждая реализация источника представлена линейной комбинацией базисных векторов в данном пространстве  $\vec{A}_j = [D] \vec{X}_j$ ,  $\forall j = \overline{1, N}$ , где столбцы матрицы  $[D]$  представляют собой базисные векторы в  $A$ ;  $\vec{X}_j$  – векторы коэффициентов разложения  $j$ -й оценки по данному базису;  $N$  – число реализаций источника. Указанный подход к представлению сигналов различных модальностей позволяет рассматривать полученные коэффициенты разложения в качестве признаков модальностей при реализации различных полимодальных услуг.

В соответствии с установленными принципами построения ПИКС *реализация телекоммуникационных и полимодальных услуг* осуществляется путем объединения сигналов различных модальностей: на уровне признакового описания, на уровне принятия решений и с использованием гибридного подхода. Выбор стратегии объединения производится в зависимости от реализуемой услуги, ограничений на способы ввода со стороны пользователя, а также предпочтительных методов объединения. В соответствие с целью функционирования ПИКС сигналы различных модальностей и результаты реализации услуг (полимодальная информация) подлежат кодированию и передаче по СПД.

Декорреляция входных сигналов ПИКС, реализуемая при полимодальном представлении информации неизбежно приводит к уменьшению выигрыша относительно суммарной скорости передачи при совместном кодировании источников, между которыми имеются корреляционные взаимосвязи. Следовательно, в многомодаль-

ных АТ целесообразно использовать раздельное кодирование параметров отдельных модальностей и результатов реализации полимодальных услуг.

Практика математического описания систем кодирования, использующих процедуры параметрического анализа и синтеза, скалярного и векторного квантований, свидетельствует о целесообразности применения для этих целей аппарата теории множеств и теории вероятностей (рис. 5). При этом рассматривается параметрическое кодирование избыточных сообщений, соответствующее предложенному универсальному представлению сигналов различных модальностей.

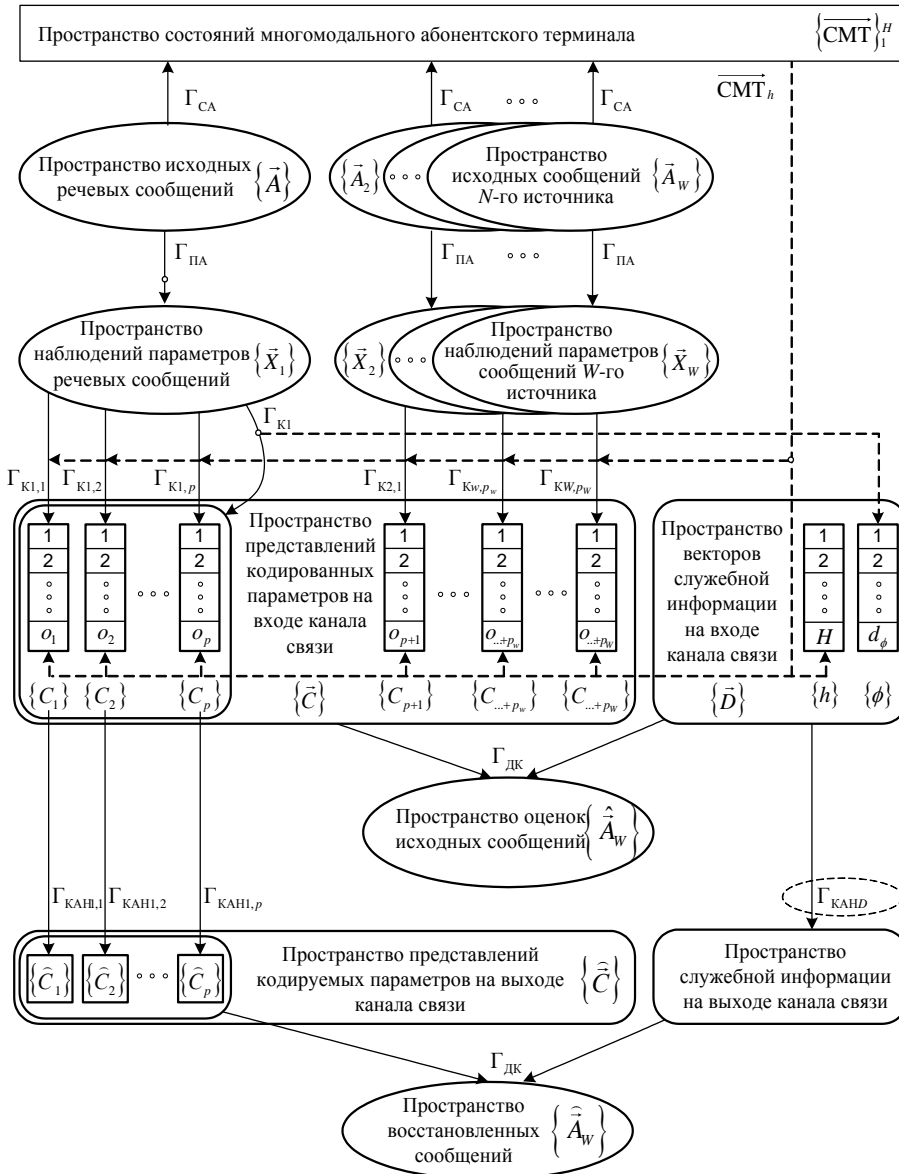


Рис. 5. Модель подсистемы кодирования сообщений различных модальностей

Входом подсистемы кодирования являются множества  $\{\vec{A}_w\}$ ,  $w = \overline{1, W}$  реализаций сообщений источников различных модальностей. К ее внутренним параметрам относятся: число  $W$  источников (модальностей); количество  $K_w$ ,  $w = \overline{1, W}$  значений случайной величины, описывающей  $w$ -й источник сообщений на интервале анализа  $T_A$ ; вид отображений параметрического анализа  $\Gamma_{ПА}$ , определяемый вариантом формирования, комбинирования и отображения множества параметров  $\vec{X}_w$  сообщений  $\vec{A}_w$ ; число  $p_w$ ,  $w = \overline{1, W}$  и вид представления кодируемых параметров  $\vec{X}_{w,j}$ ,  $j = \overline{1, p_w}$  источников полимодальной информации; вид отображений  $\Gamma_{Кw,j}$ ,  $w = \overline{1, W}$ ,  $j = \overline{1, p_w}$ , определяющих процедуры квантования

наблюдаемых параметров источников полимодальной информации; число уровней квантования  $o_j$  каждого наблюдаемого параметра источников информации, определяющих мощности подмножеств кодированных параметров  $\{C_j\}$  на входе СПД; вид отображения статистического анализа  $\Gamma_{CA}$ , определяющего процедуру классификации исходных сообщений  $W$  источников; число  $H$  состояний абонентского терми-

нала  $\{\overline{\text{СМТ}}\}$ , определяющих множество вариантов распределения информационной емкости канала связи по множествам кодируемых параметров  $W$  источников.

С учетом искажений, получаемых при кодировании, и влияния  $\Gamma_{\text{КАН}}$  канала связи, при известном отображении  $\Gamma_{\text{ДК}}$  декодирования, математическое описание подсистемы кодирования относительно внешнего параметра, характеризующего качество кодирования сообщений различных модальностей, имеет вид:

$$D_{\text{сум}} = \sum_{w=1}^W \left( \frac{D_w \left[ \left\{ \vec{A} \right\}, \left\{ \hat{A} \right\} \right]}{P_{C_w}} + \sigma \sum_{q=1}^W \left( \frac{D_w \left[ \left\{ \vec{A} \right\}, \left\{ \hat{A} \right\} \right]}{P_{C_w}} - \frac{D_q \left[ \left\{ \vec{A} \right\}, \left\{ \hat{A} \right\} \right]}{P_{C_q}} \right)^2 \right), \quad (15)$$

где  $D_w \left[ \left\{ \vec{A} \right\}, \left\{ \hat{A} \right\} \right]$ ,  $w = \overline{1, W}$  – среднеквадратическая ошибка между множествами исходных и восстановленных сообщений или энергия шума при восстановлении сообщений  $w$ -го источника;  $\sigma$  – эмпирический коэффициент, определяющий степень влияния штрафа;  $P_{C_w} = \sum_{i=1}^U \vec{A}_{wi}^T \vec{A}_{wi}$  – энергия сообщений  $w$ -го источника.

Математическая модель подсистемы кодирования относительно внешнего параметра – скорости передачи:

$$B_{(w)} = \left( \log \prod_{w=1}^W \prod_{j=p_{w-1}+1}^{p_w} o_j + r + \log d_{\varphi} + \log H \right) / T_A \text{ бит/с}, \quad (16)$$

где  $r$  – число проверочных разрядов,  $d_{\varphi} = |\{\varphi\}|$  – мощность подпространства  $\{\varphi\} \in \{\vec{D}\}$ , характеризующего множество вариантов помехоустойчивого кодирования.

Выражения (15) и (16) позволяют формализовать частные оптимизационные задачи, а в рамках решения прямой задачи определить номенклатуру скоростей  $B_j$  и рассчитать величину ЕКР (8). Так, в соответствии с выражением (16) для передачи текстовых модальностей (ввод с клавиатуры, сигнал «мыши» и рукописный ввод) требуется 80-270 бит/с; для передачи акустических модальностей (речевой сигнал, паузы, неречевые звуки) – от 1200 бит/с; для визуальных модальностей (артикуляция губ, строение и выражение лица, глаза, положение головы) – 300-2000 бит/с.

Таким образом, разработанная иерархическая система моделей позволяет системно с различной степенью детализации получить количественные характеристики подсистем и модулей ПИКС, а также обеспечивает сравнимость эффективности полученных решений по отношению к традиционным ИКС.

**В третьем разделе** на базе иерархической системы моделей предложен *метод синтеза* ПИКС, основанный на глобальном подходе и многоэтапной процедуре оптимизации (рис. 6).

*На первом этапе* решается задача выбора рациональных системотехнических решений с использованием метамодели ПИКС (рис. 2, 3) на основе следующей методики.

**Шаг 1.1.** Определение требований  $T$  пользователей к номенклатуре услуг  $S$  и качеству предоставляемой информации.

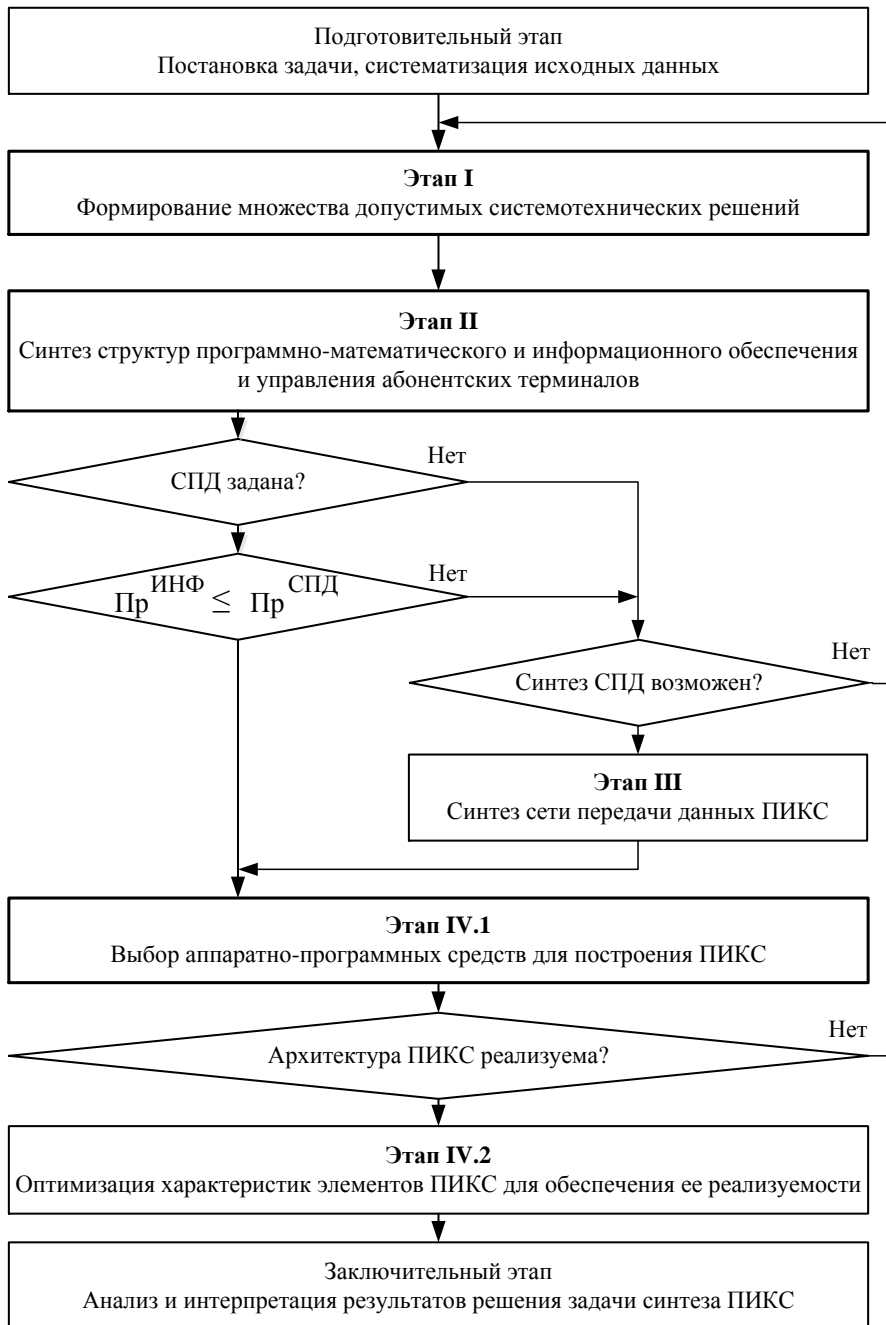


Рис. 6. Структура метода синтеза ПИКС

**Шаг 1.2.** Структурный анализ когнитивной карты: анализ целей на непротиворечивость, управлений на согласованность с целями, эффективности интегрального воздействия управляющих факторов на целевые.

**Шаг 1.3.** Сценарное моделирование возможных вариантов структур когнитивной карты, оценок динамики параметров базисных факторов и их значений с целью выявления совокупности факторов, способствующих достижению целей такого развития.

**Шаг 1.4.** Оценка эффективности проектных решений. Формирование множества допустимых системотехнических решений на основе:

- требований  $t_i^{(\alpha)}$  пользователей к номенклатуре услуг  $s_g^{(\alpha)}$  и качеству предоставляемой информации (факторы 23-29, 39-48 когнитивной модели);

- доступных устройств ввода/вывода сигналов различных модальностей  $d_b^{(\alpha)}$  (факторы 2-7 когнитивной модели);

- объема и типа услуг  $r_k^{(\alpha)}$  (факторы 8-10 когнитивной модели);

- математических моделей  $mm^{ор} \in MM$ , методов  $mo^{ор} \in MO$  и алгоритмов  $al^{ор} \in AL$ , реализующих соответствующие технологии обработки сигналов различной модальности (факторы 11-22 когнитивной модели) и многомодальных сигналов (факторы 30-38 когнитивной модели);

- инцидентных им потоков естественных  $as_q^{(\alpha)}$  и искусственных  $ns_a^{(\alpha)}$  сигналов, обеспечивающих требуемый коэффициент целедостижения и максимум эффективности управленческого решения.



В случае изменения текущей ситуации производится корректировка когнитивной карты (рис. 2, 3) и повторяются **шаги 1.2-1.4**. Ограничение области поиска и соответствующие этому снижению общей размерности задачи достигается за счет контроля из всей совокупности свойств системы только тех характеристик (целостность информации, затраты инфокоммуникационных, в том числе вычислительных, ресурсов), которые максимально влияют на результаты функционирования (в соответствии с методом главных компонент). Результаты анализа концептуальной модели и моделирования управляемого развития ситуации служат начальными условиями для решения задач оптимизации структуры ПМИО АТ второго этапа.

*На втором этапе* осуществляется уточнение полученных структур на графоматричных моделях. Обеспечивается выполнение требований к ПИКС по своевременности и быстродействию за счет решения задачи целочисленного программирования при синтезе структур ПМИО АТ и задачи об оптимальной иерархии при синтезе структуры управления АТ ПИКС. Могут применяться как существующие, так и вновь созданные в ходе исследований методики и алгоритмы решения таких задач. *Общая методика синтеза (оптимизации) структур ПМИО и управления АТ* включает в себя следующую последовательность процедур.

**Шаг 2.1.** Формирование множества задач  $i = \{1, \dots, I\}$  (этапов  $z = \{1, \dots, z_i\}$ ) ПИКС и их вариантов  $k = \{1, \dots, K\}$  на основе целевых факторов концептуальной модели, прямо или опосредовано внесших вклад в достижение целей функционирования проектируемой ПИКС при формировании множества допустимых системотехнических решений (первый этап синтеза ПИКС).

**Шаг 2.2.** Формирование множества узлов структуры ПМИО АТ  $j = \{1, \dots, J\}$  (множества элементов  $al \in AL$ ) и вариантов их построения  $p = \{1, \dots, P_j\}$ , содержащих алгоритмы ввода и обработки сигналов, выделения модальностей, вычисления параметров модальностей; реализации технологий обработки многомодальных сигналов; реализации полимодальных и телекоммуникационных услуг.

В качестве характеристик указанных алгоритмов  $al$  преобразования естественных  $as_q^{(g)}$  и искусственных  $ns_a^{(g)}$  сигналов для синтеза структурных альтернатив ПМИО абонентских терминалов ПИКС рассматриваются затраты на решение  $z$ -го этапа  $i$ -й задачи в  $j$ -м узле; средний поток информации между  $z$ -этапом  $i$ -й задачи и  $z$ -этапом  $i$ -й задачи в процессе функционирования системы; затраты на передачу единицы объема информации из узла  $j$  в узел  $j'$ ; количество ресурсов  $\gamma$ -го типа в момент времени  $t$ , необходимое для выполнения  $z$ -го этапа  $i$ -й задачи.

При реализации второго этапа синтеза ПИКС в качестве основных типов ресурсов рассматриваются временные ( $\gamma = 1$ ) и вычислительные ( $\gamma = 2$ ) затраты, позволяющие оценить выполнение требований по быстродействию АТ ПИКС.

**Шаг 2.3.** Выбор варианта решения задачи, варианта решения этапа, объема задачи, варианта реализации узла; варианта решения задачи, варианта этапа и узла, в котором он выполняется; варианта решения задачи, способа, варианта этапа и узла, в котором он выполняется в соответствии с предложенной моделью структуры ПМИО.

**Шаг 2.4.** Формирование ограничений на затраты функционирования и загрузку узлов, исходя из характеристик предполагаемых к использованию АПСС (АТ).

**Шаг 2.5.** Выбор числовых характеристик  $C(al_1), \dots, C(al_j)$  и вида функционала стоимости (13) или (14), исходя из оптимизируемых частных показателей эффективности ПИКС и общей схемы организации процесса обработки информации.

**Шаг 2.6.** Определение ресурсов, необходимых для выполнения задач оперативного управления, на основе функционала стоимости и его числовых характеристик.

**Шаг 2.7.** Решение задачи (12) синтеза структуры ПМИО АТ ПИКС.

**Шаг 2.8.** Оценка числа и номенклатуры модальностей и результатов реализации полимодальных услуг, подлежащих кодированию и передаче в СПД.

**Шаг 2.9.** Формирование группы элементов на основе подмножеств  $AL$ .

**Шаг 2.10.** Построение графа иерархии  $G_{ИЕР}$  над множеством элементов  $al \in AL$ , проверка его на ацикличность, формирование дерева иерархии.

**Шаг 2.11.** Выбор оптимальной иерархии для каждой группы (решение задачи об оптимальной иерархии одной группы), исходя из значений параметра сложности  $\alpha$  и параметра функционала  $\beta$ .

**Шаг 2.12.** Формирование структуры  $G_{ТУ}$  на основе полученных решений.

Снижение общей размерности задачи синтеза структуры ПМИО АТ достигается за счет отбрасывания альтернатив, не отвечающих требованиям физической реализуемости на современном этапе развития технологий. Результаты выполнения **шага 2.7** являются исходными данными для реализации четвертого этапа разработанного метода синтеза, а **шага 2.8** – позволяют оценить минимальный объем канального ресурса при передаче сигналов различной модальности и осуществить (в случае решения обратной задачи) синтез СПД (третий этап разработанного метода).

*На третьем этапе* производится синтез физической структуры СПД с использованием различающихся степенью обобщения и адекватности макро-, структурно-функциональных и функционально-структурных моделей. Снижение общей размерности задачи синтеза на данном этапе обеспечивается сведением многокритериальной задачи к однокритериальной с ограничениями в виде нестрогих неравенств. Выбор альтернатив осуществляется по критерию превосходства в текущей предпроектной ситуации. Обеспечивается выполнение требований к своевременности связи, структурным живучести и надежности мультипротокольной СПД для реальных протяженностей мультиплексных, регенерационных и усилительных секций, различных вариантов их пропускной способности. Состав частных задач соответствует классическому: синтез топологической структуры, распределение потоков/выбор пропускных способностей, оценка ВВХ и эффективности сетевых подсистем, обеспечивающих функционирование (управления, синхронизации, технического обеспечения). Результаты решения перечисленных структурно-сетевых задач по этапно-итерационной схеме используются в качестве начальных условий решения задач оптимизации четвертого этапа.

*На четвертом этапе* производится формирование функциональной структуры АТ. Для чего осуществляется выбор АПСС, необходимых для обеспечения заданных показателей эффективности и других средств адаптации АТ под изменяющиеся требования абонентов к номенклатуре услуг и качеству предоставляемой информации. Оптимизация АТ осуществляется в смысле улучшения технических характеристик и снижения стоимости. Задачи четвертого этапа формулируются в рамках ФСП, вследствие чего корректировка их ФХ осуществляется в рамках тех функций

функционального элемента, который он играет в данном узле АТ. *Методика выбора аппаратно-программных средств реализации АТ ПИКС* представлена следующей последовательностью процедур.

**Шаг 3.1.** Определение исходных данных проектирования функциональной структуры ПИКС (ее функциональных узлов):

- обоснование конкретного набора показателей для выбора технических средств реализации с учетом специфики создаваемой системы (ее подсистемы, элемента);
- выбор варианта построения функциональной структуры ПИКС и ее подсистем (одномодальный или многомодальный интерфейс, с резервированием или без него);
- определение совокупностей программно-аппаратных реализаций АР (функциональных элементов), выполняющих алгоритмы АЛ структур ПМИО и управления АТ.

**Шаг 3.2.** Построение графа функциональной структуры ПИКС.

**Шаг 3.3.** Экспертная оценка коэффициента технической совместимости для всех пар сопрягаемых функциональных элементов.

**Шаг 3.4.** Расчет обобщенного показателя  $k_{ij} = E_{ij}^{\text{норм}} \cdot C_{ij}^{\text{норм}} / T_{ij}^{\text{норм}}$  для всех пар сопрягаемых функциональных элементов, где  $j$  – номер блока (группы функциональных узлов) в функциональной структуре входного интерфейса АТ ( $j = 1 \dots 5$ );  $i = 1 \dots M$  – номер структурного элемента в  $j$ -м блоке (группе функциональных узлов);  $M$  – максимальное число функциональных элементов одного типа блоков;  $E_{ij}^{\text{норм}}$ ,  $C_{ij}^{\text{норм}}$ ,  $T_{ij}^{\text{норм}}$  – нормированные значения технических характеристик, стоимости и коэффициента технической совместимости  $i$ -го элемента  $j$ -го блока соответственно;  $k_{ij}$  – вес ребра к  $i$ -му элементу  $j$ -го блока.

**Шаг 3.5.** Если оптимизируется функциональная структура ПИКС или ее элементов по каждой модальности, то применяется *алгоритм Дейкстры* и осуществляется переход к **шагу 3.8**. В противном случае – переход к **шагу 3.6**.

**Шаг 3.6.** Если оптимизируется функциональная структура ПИКС с многомодальным входным интерфейсом, то применяется разработанный алгоритм и осуществляется переход к **шагу 3.8**. В противном случае – переход к **шагу 3.7**.

**Шаг 3.7.** Для оптимизации функциональной структуры ПИКС с многомодальным входным интерфейсом и резервированием применяется разработанный алгоритм.

**Шаг 3.8.** Формирование графа оптимальной функциональной структуры ПИКС.

Полученные результаты (программно-аппаратные реализации АР и их взаимосвязь, определяемая графом функциональной структуры) используются при проектировании *технологической структуры* АПСС ПИКС известными методами и средствами.

Таким образом, последовательное использование различающихся степенью обобщения и адекватности моделей позволяет поддерживать несколько уровней детализации и этапов проработки проекта ПИКС, устраняя ряд известных недостатков традиционных подходов. В целом метод позволяет синтезировать ПИКС с требуемыми характеристиками стоимости, целостности, производительности и быстродействия, что проверено при проектировании реальных систем и их АТ. Инструментарий, разработанный в рамках каждого этапа, может применяться самостоятельно для решения прикладных задач оптимизации структур АТ и СПД.

**В четвертом разделе** предлагаются специальные элементы теории построения ПИКС и предложения по их реализации на практике. Средством актуализации полученных новых теоретических знаний к потребностям практики является сформули-

рованная концепция построения ПИКС государственного управления (ГУ). Показаны направления применения предложенных выше моделей, методик и алгоритмов для построения и обеспечения эффективной эксплуатации ПИКС.

*Концепция построения ПИКС государственного управления* содержит цели, задачи, принципы и способы построения устойчивой и безопасной ИКС ГУ нового типа. Она базируется на формально-математической базе проектирования, сформулированной в разделах 2 и 3, а также решениях актуальных задач в смежных областях предметной области. Детализация общих положений *Концепции* производится в соответствии с требованиями конкретных структур (метасистем) системы ГУ и назначением их ИКС. Реализация положений разработанной концепции способствует экономически целесообразному формированию закрытого ИнфП в интересах ГУ с требуемым качеством информации, предоставляемой ее должностным лицам.

Использование закономерностей предметной области и разработка формализмов, необходимых для моделирования ПИКС, позволили синтезировать *конструкции конкретных физических модулей*, способствующих предоставлению пользователям полимодальных услуг, в том числе позволяющих минимизировать барьеры межличностной коммуникации субъектов ИнфП. Разработанные в ходе исследований физические модули свидетельствуют о конструктивизме избранного подхода к решению проблем практики и теории, практической ценности предлагаемого в работе методологического инструментария.

Предложена и получила практическое внедрение у субъектов ИнфП (в оперативных штабах, ситуационных центрах и др.) услуга «*Определение психофизиологического состояния*». Ее реализация позволяет перераспределять функции между пользователями и повысить производительность их труда на основе мониторинга их психофизиологического состояния по сигналам многомодального АТ.

Изменение качества распознавания речи при постоянстве характеристик канала связи (например, при телефонном разговоре) может служить источником информации о *степени алкогольной интоксикации абонента*. Соответствующая полимодальная услуга может быть использована в том числе в качестве средства мониторинга опьянения субъектов ИнфП, состоящих на профилактическом учете.

Предложенная услуга «*Определение эмоционального состояния абонента*» позволяет на основе анализа модальностей акустического канала повысить точность определения эмоций на 7-12% по сравнению с известными решениями, что существенно для информационно-управляющих систем, а также криминалистической фоноскопии.

В предположении, что наряду с обменом сообщениями субъекты ИнфП при коммуникативном взаимодействии интересуют их *истинность* (ложность), предложена соответствующая *услуга*, основанная на анализе невербального поведения абонента. ОУч в данном случае становятся смысл и оценка истинности сообщения. Для передачи соответствующих модальностей требуется около 4500 бит/с, а для их параметров – не более 4 бит/с. Показано, что при реализации данной услуги повышается минимум в  $D_2$  раз (где  $D_2$  – достоверность определения истинности) удельная себестоимость ПИКС по отношению к ИКС с аддитивным наращиванием модальностей, требующих применения дополнительных средств (например, полиграфа).

Таким образом, в настоящее время подходы к построению ПИКС имеют практическое воплощение в ряде эффективных инфокоммуникационных приложений.

**В заключении** сформулированы основные результаты и выводы по работе.

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

В диссертационной работе решена крупная научно-техническая проблема и развитием нового научного направления – построения и обеспечения эффективного функционирования полимодальных инфокоммуникационных систем, обеспечивающих поддержание заданных показателей производительности, быстродействия и целостности информации в изменяющихся условиях в информационном пространстве. В ходе ее выполнения получены следующие основные результаты.

1. Выявлены объективные предпосылки (разработка и внедрение многомодальных абонентских терминалов, оптических систем передачи и быстродействующих систем мониторинга) для концептуальной постановки и системного решения сформулированной выше актуальной проблемы путем формирования нового типа средств информационного взаимодействия субъектов информационного пространства, вне традиционного принципа предоставления пользователям заранее установленного перечня услуг связи и информатизации.

2. Разработаны принципы, приемы и способы практического построения и применения полимодальных инфокоммуникационных систем, в том числе интеллектуальных, в условиях отказа от предоставления традиционных услуг связи в пользу применения у субъектов информационного пространства многомодальных интерфейсов. Использование свойства полимодальности позволяет при анализе и синтезе инфокоммуникационных систем выйти за рамки традиционных принципов предоставления традиционных услуг связи и информатизации, расширить возможности формализации свойств транспортной инфраструктуры при обеспечении ее устойчивости к изменяющимся условиям обстановки и чувствительности к текущим потребностям субъектов информационного пространства.

3. Разработаны формализмы полимодальной инфокоммуникационной системы, которые имеют различное целевое назначение, степень детализации и реализуют комбинирование структурно-функционального и функционально-структурного подходов. Концептуальная модель использует инструментарий когнитивных карт для анализа действия трудно формализуемых факторов на метауровне исследований. Макромодель полимодальной инфокоммуникационной системы сформирована в рамках глобального функционально-структурного подхода и базируется на стратах теории множеств. Информационно-алгоритмическая модель абонентского терминала, напротив, использует структурное представление посредством использования направленных графов. Модели различных модальностей и их кодирования, а также модели реализации полимодальных услуг относятся к субуровню исследований и позволяют актуализировать теоретические модели более высоких уровней к современной ступени развития компонентной базы и технологий передачи данных.

4. Обоснованы пути снижения вычислительной сложности задачи синтеза (оптимизации функциональных характеристик) полимодальной инфокоммуникационной системы и разработаны методики решения вновь возникающих задач обеспечения заданного качества обслуживания (предоставления информации требуемого качества) субъектов информационного пространства, различающихся степенью детализации и размерностью моделей, составом системы ограничений и критериями, способами задания стартовой точки оптимизации функциональных характеристик.

5. Систематизированы новые (вне принципов предоставления традиционных услуг связи) прикладные задачи синтеза информационных инфраструктур для обес-

печения применимости существующей формально-математической базы для планирования и проектирования полимодальных инфокоммуникационных систем.

6. Разработана концепция построения полимодальных инфокоммуникационных систем государственного управления, являющаяся инструментом актуализации элементов теории их построения к потребностям практики построения систем инфокоммуникаций для органов государственного управления. Она базируется на формально-математической базе проектирования, сформулированной в разделах 2 и 3, а также решениях актуальных задач в смежных областях предметной области. Реализация положений разработанной концепции способствует экономически целесообразному формированию закрытого информационного пространства в интересах системы государственного управления с высокой эффективностью коммуникативного взаимодействия ее должностных лиц. Использование закономерностей предметной области и разработка формализмов, необходимых для моделирования полимодальных инфокоммуникационных систем, позволили синтезировать конструкции конкретных физических модулей, способствующих предоставлению пользователям полимодальных услуг.

8. Эффективность предложенных в диссертации принципов, моделей, метода синтеза полимодальной инфокоммуникационной системы, методик и алгоритмов оптимизации ее функциональных характеристик подтверждается результатами решения практических расчетных и исследовательских задач в ходе выполнения НИОКР в интересах Спецсвязи ФСО России, производителей и разработчиков систем связи и инфокоммуникационных услуг.

Полученные результаты соответствуют пунктам «2. Формализация и постановка задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений и обработки информации», «3. Разработка критериев и моделей описания и оценки эффективности решения задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений и обработки информации», «4. Разработка методов и алгоритмов решения задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений и обработки информации», «5. Разработка специального математического и алгоритмического обеспечения систем анализа, оптимизации, управления, принятия решений и обработки информации», «7. Методы и алгоритмы структурно-параметрического синтеза и идентификации сложных систем» и «8. Теоретико-множественный и теоретико-информационный анализ сложных систем» паспорта специальности 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации.

Значение диссертации для экономического развития страны определяется тем, что в ее рамках исследованы новые возможности совершенствования средств информационного взаимодействия субъектов информационного пространства, в том числе должностных лиц органов государственного управления, на основе многомодальных абонентских терминалов и других инновационных инфокоммуникационных технологий. Показаны перспективные направления развития стратегической отрасли инфокоммуникационных систем, разработаны конструктивный метод и унифицированные научно-методические средства планирования и проектирования полимодальных инфокоммуникационных систем, охватывающие потенциально широкое число конкретных приложений и предназначенные для использования в составе информационно-математического обеспечения систем планирования, проектирования и сетевого менеджмента национального информационного пространства.

**ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

*Статьи в рецензируемых научных изданиях:*

1. Басов, О. О. Математическая модель системы кодирования речевого сигнала с многопараметрической адаптацией / О. О. Басов // Телекоммуникации. – 2008. – № 7. – С. 7–13.
2. Басов, О. О. Построение структуры транспортной сети связи / И. А. Саитов, Б. И. Соловьев, О. О. Басов, И. Г. Кобзарева // ВЕСТНИК РГРТУ. № 3 (выпуск 29). – Рязань, 2009. – С. 11–18.
3. Басов, О. О. Модели коммуникативного взаимодействия и их применение в инфокоммуникациях / О. О. Басов, М. В. Илюшин, А. В. Зацепин // ВЕСТНИК РГРТУ. № 3 (выпуск 25). – Рязань, 2011. – С.106–108.
4. Басов, О. О. Применение пространственной фильтрации в задачах кодирования подвижных изображений / О. О. Басов, В. А. Ягупов, М. В. Стремоухов // ИЗВЕСТИЯ ЮФУ. Технические науки. № 6 (131). 2012 г. Тематический выпуск. Проблемы математического моделирования, супервычислений и информационных технологий. – С. 123-125.
5. Басов, О. О. Основные каналы межличностной коммуникации и их проекция на инфокоммуникационные системы / О. О. Басов, И. А. Саитов // Труды СПИИРАН, 2013. Вып. 7(30). – С.122–140.
6. Басов, О. О. Исследование характеристик джиттера периода основного тона речевого сигнала / О. О. Басов, М. В. Носов, В. А. Шалагинов // Труды СПИИРАН. – 2014. – Вып. 1(32). – С. 27–44.
7. Басов, О. О. Качество функционирования и эффективность полимодальных инфо-коммуникационных систем / О. О. Басов, И. А. Саитов // Труды СПИИРАН. 2014. Вып. 1(32). – С. 152–170.
8. Басов, О. О. Применение методов теории графов для проектирования средств измерения тактильных параметров / О. О. Басов, С. П. Богданов, А. А. Иванов // Труды СПИИРАН, 2014. Вып. 2(33). – С. 248–258.
9. Носов, М. В. Повышение эффективности управления в условиях изменения психофизиологического состояния персонала / М. В. Носов, О. О. Басов, П. Ю. Хахамов // Труды СПИИРАН, 2014. – Вып. 3 (34). – С. 112–135.
10. Басов, О. О. Оценка ложности передаваемой информации по динамике параметров невербального поведения абонента / О. О. Басов // Вестник РГРТУ. № 1 (выпуск 51). Рязань, 2015. С. 24-29.
11. Басов, О. О. Методика выбора аппаратно-программных средств для построения абонентских терминалов полимодальной инфокоммуникационной системы / О. О. Басов, С. П. Богданов, Д. А. Струев // Доклады ТУСУРа, № 1(35), март 2015. С. 116-122.
12. Басов, О. О. Методика поэтапного внедрения полимодальных инфокоммуникационных систем / О. О. Басов, А. Л. Ронжин // Научные ведомости БелГУ. Сер. История. Политология. Экономика. Информатика. – 2015. – № 1(198). – Вып. 33/1. – С. 131-137.
13. Басов, О. О. Анализ стратегий и методов объединения многомодальной информации / О. О. Басов, А. А. Карпов // Информационно-управляющие системы. СПб.: ГУАП, №2, 2015. – С. 7-14.

14. Басов, О. О. Принципы построения полимодальных инфокоммуникационных систем на основе многомодальных архитектур абонентских терминалов / О. О. Басов // Труды СПИИРАН. 2015. Вып. 2(39). С.109-122.

15. Басов, О. О. Методы передачи полимодальной информации / О. О. Басов, И. А. Сайтов // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2015. Том 15. № 2. С. 293-299.

16. Басов, О. О. Определение степени алкогольной интоксикации человека на основе автоматического анализа речи / О. О. Басов, А. Л. Ронжин // Вестник Московского университета МВД РФ, 2015. - № 5. - С. 216-220.

17. Басов, О. О. Межличностные аспекты полимодальности при построении коммуникационных систем / О. О. Басов, Д. А. Щербаков, А. И. Савельев, А. Л. Ронжин // Пилотируемые полеты в космос, 2015. – № 4(17). – С. 28-47.

18. Басов, О. О. Частные задачи оптимизации функциональных характеристик полимодальных инфокоммуникационных систем / С. И. Сайтов, М. В. Носов, О. О. Басов // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия «Экономика. Информатика». – 2016. – № 2 (223). Выпуск 37. – С. 178–181.

19. Басов, О. О. Модели кодирования полимодальной информации / О. О. Басов, И. С. Кипяткова, А. И. Савельев, И. А. Сайтов // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2016. № 2(81). С. 68-73.

*Статьи в зарубежных изданиях:*

20. Basov, O. O. A Conceptual Model of Multicriterion Adaptation of the Linear Predictive Voice Coding Procedure / O. O. Basov // Telecommunications and Radio Engineering, Vol. 68, № 10, 2009. – P.923–931.

21. Basov, O. O. Human resources management in conditions of operators' psychophysiological state changes / O.O. Basov, M.V. Nosov // 16<sup>th</sup> International Conference, SPECOM 2014. - Springer International Publishing Switzerland. A. Ronzhin et al. (Eds.): SPECOM 2014, LNAI 8773, 2014. - pp. 259-268.

22. Basov, O. O. Synthesis of Multi-service Infocommunication Systems with Multimodal Interfaces / O. O. Basov, D. A. Struev, A. L. Ronzhin // 8<sup>th</sup> Conference ruSMART 2015. - Springer International Publishing Switzerland. S. Balandin et al. (Eds.): ruSMART 2015, LNCS 9247, 2015, pp. 128–139.

23. Basov, O. O. Method of Defining Multimodel Information Falsity for Smart Telecommunication Systems / O. O. Basov, A. L. Ronzhin, V. Yu Budkov, I. A. Saitov // 8<sup>th</sup> Conference ruSMART 2015. - Springer International Publishing Switzerland. S. Balandin et al. (Eds.): ruSMART 2015, LNCS 9247, 2015, pp. 163–176.

24. Basov, O. O. Algorithms for low bit-rate coding with adaptation to statistical characteristics of the speech signal / O. O. Basov, A. I. Savelev, A. L. Ronzhin // 17<sup>th</sup> International Conference, SPECOM 2015. - Springer International Publishing Switzerland. A. Ronzhin et al. (Eds.): SPECOM 2015, LNAI 9319, 2015. - pp. 65-72.

*Монография и учебные пособия:*

25. Басов, О. О. Методологические основы синтеза полимодальных инфокоммуникационных систем государственного управления: монография / О. О. Басов, А. А. Карпов, И. А. Сайтов. – Орёл : Академия ФСО России, 2015. – 271 с.

26. Басов, О. О. Качество передачи речи и его оценка: учебное пособие / М. В. Илюшин, В. Т. Дмитриев, О. О. Басов, В. А. Тарусов; под общ. ред. С. Н. Кириллова. – Орёл: Академия ФСО России, 2015. – 103 с.



*Основные статьи и доклады в материалах конференций:*

27. Басов, О. О. Методика проектирования адаптивных систем кодирования речевого сигнала / О. О. Басов, А. А. Рыболовлев // Информатизация и информационная безопасность правоохранительных органов: XVI международ. науч конф. – М.: Академия управления МВД России, 2007. – С.407–412.

28. Басов, О. О. Адаптация систем обработки речевого сигнала к акустическому шуму / О. О. Басов, Д. Ю. Музалевский, В. О. Басов // Проектирование инженерных и научных приложений в среде MATLAB : материалы IV Всероссийской научной конференции (г. Астрахань, 4 – 8 мая 2009г.) / сост. И.С. Пономарева. – Астрахань : Издательский дом «Астраханский университет», 2009. – 719 с. – С. 582-588.

29. Басов, О. О. Кодирование широкополосного речевого сигнала с адаптацией распределения информационных ресурсов к психоакустическим особенностям восприятия речи аудиторной системой человека / М. В. Илюшин, О. О. Басов // Новые информационные технологии в научных исследованиях и образовании: материалы 15-й Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов. – Рязанский государственный радиотехнический университет, 2010. – С.117-118.

30. Басов, О. О. Предпосылки создания полимодальных инфокоммуникационных систем / О. О. Басов // Сборник материалов Международной научно-практической конференции «Неделя науки СПбГПУ». Санкт-Петербургский государственный политехнический университет, 3–8 декабря 2012 г. // Секция «Решение сложных задач в области современных информационных и компьютерных технологий». – С. 5–6.

31. Басов, О. О. Теоретико-множественная модель полимодальной инфокоммуникационной системы / О. О. Басов, В. В. Никитин, М. В. Илюшин // Новые информационные технологии в научных исследованиях : материалы XVIII Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов. Рязанский государственный технический университет, 2013. – 344 с. – С. 60–62.

32. Басов, О. О. Критерий оптимизации структуры автономных средств измерения параметров невербальных сигналов / С. П. Богданов, О. О. Басов // Современные материалы, техника и технология: материалы 3-й Международной научно-практической конференции (27 декабря 2013 г.) / ответст. за вып. : А. А. Горохов. – Юго-Зап. гос. ун-т. : В 3-х т. Т. 2. – Курск, 2013. – 351 с. – С.72–75.

33. Басов, О. О. Оценивание психофизиологического состояния человека по сигналам различных каналов взаимодействия с техническими средствами автоматизированных рабочих мест / М. В. Носов, О. О. Басов // Материалы 4-й Международной научно-практической конференции «Современные инновации в науке и технике» (18 апреля 2014 года) / редкол. : А. А. Горохов (отв. ред); Юго-Зап. гос. ун-т. В 3-х т. Т. 2. – Курск, 2014. – 351 с. – С.72–75.

34. Басов, О. О. Математические модели и алгоритмы формирования джиттера сигналов текстового канала взаимодействия технических средств и оператора АРМ / М. В. Носов, Е. А. Васечкин, О. О. Басов // Материалы VI Международной научно-технической конференции «Информационные технологии в науке, образовании и производстве» (22–23 мая 2014 г.). – Орёл: ГУ-УНПК, 2014. [http://youconf.ru/files/itnop2014/Носов\\_Васечкин\\_Басов.pdf](http://youconf.ru/files/itnop2014/Носов_Васечкин_Басов.pdf).

35. Басов, О. О. Учет психофизиологического состояния пользователя при его аутентификации по рукописному почерку / О. О. Басов, В. В. Никитин // Инновации, качество и сервис в технике и технологиях : Сборник научных трудов 4-й Международной научно-практической конференции (4-5 июня 2014 года) / редкол.: Горохов А.А. (отв. ред.); В 3-х томах, Том 2. Юго-Зап. Гос. ун-т. Курск, 2014. 310 с. – С. 41-44.

36. Басов, О. О. Методологический подход к формированию множества системотехнических решений по построению полимодальных инфокоммуникационных систем / О. О. Басов, Е. А. Васечкин, Д. А. Струев // Сборник трудов VIII Международной научно-практической конференции СКФ МТУСИ "ИНФОКОМ-2015". - С. 46-50.

37. Басов, О. О. Reasoning of the Transition to Polymodal Infocommunicational Systems / О. О. Басов // Распределенные компьютерные и телекоммуникационные сети: управление, вычисление, связь (DCCN-2015): материалы Восемнадцатой междунар. науч. конфер, 19–22 окт. 2015 г., Москва: / Ин-т проблем упр. им. В.А. Трапезникова Рос. акад. наук ; под общ. ред. В.М. Вишневого – М.: ИПУ РАН, 2015. – 656 с. – С. 418-425.

*Патенты на изобретения и полезные модели, свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ:*

38. Способ адаптивного кодирования речевых сигналов на основе системы с переменной структурой: пат. № 2343564 Российской Федерации: МПК G10L 19/06 [А. А. Афанасьев, О. О. Басов и др.]; патентообладатель гос. казенное образовательное учреждение высш. проф. образования Академия ФСО России. – № 2006143249/09; заявл. 06.12.2006, опубл. 10.01.2009. Бюл. № 1. – 8 с.: ил.

39. Способ векторного квантования линейных спектральных частот: пат. № 2408088 Российской Федерации: МПК G10L 19/04 [О. О. Басов, И. А. Сайтов и др.]; патентообладатель гос. казенное образовательное учреждение высш. проф. образования Академия ФСО России. – № 2009110838/09; заявл. 24.03.2009, опубл. 27.12.2010. Бюл. № 36. – 12 с.: ил.

40. Способ кодирования широкополосного речевого сигнала: пат. № 2419169 Российской Федерации: МПК G10L 19/00 [М. В. Илюшин, О. О. Басов и др.]; патентообладатель гос. казенное образовательное учреждение высш. проф. образования Академия ФСО России. – № 20009144612/09; заявл. 01.12.2009, опубл. 20.05.2011. Бюл. № 14. – 10 с.: ил.

41. Способ разделения джиттера периода основного тона речевого сигнала: пат. № 2419166 Российской Федерации: МПК G10L 11/00; G10R 13/00 [О. О. Басов, В. А. Шалагинов и др.]; патентообладатель гос. казенное образовательное учреждение высш. проф. образования Академия ФСО России. – № 2009144611/09; заявл. 01.12.2009, опубл. 20.05.2011. Бюл. № 14. – 14 с.: ил.

42. Способ передачи дополнительной информации и устройство для его осуществления: пат. № 2435310 Российской Федерации: МПК H04B 10/18 [И. А. Сайтов, О. О. Басов и др.]; патентообладатель гос. казенное образовательное учреждение высш. проф. образования Академия ФСО России. – № 2009144603/08; заявл. 01.12.2009, опубл. 27.11.2011. Бюл. № 33. – 18 с.: ил.

43. Способ передачи мультипротокольных информационных потоков и устройство для его реализации: пат. № 2481709 Российской Федерации: МПК H04B 10/291 [И. А. Сайтов, О. О. Басов и др.]; патентообладатель гос. казенное образовательное

учреждение высш. проф. образования Академия ФСО России. – № 2011131434/07; заявл. 26.07.2011, опубл. 10.05.2013. Бюл. № 13. – 18 с.: ил.

44. Способ цифровой оптической связи: пат. № 2480912 Российской Федерации: МПК H04B 10/25 [И. А. Сайтов, О. О. Басов и др.]; патентообладатель гос. казенное образовательное учреждение высш. проф. образования Академия ФСО России. – № 2011133410/07; заявл. 09.08.2011, опубл. 27.04.2013. Бюл. № 12. – 11 с.: ил.

45. Способ обнаружения эмоций по голосу: пат. № 2510955 Российской Федерации: МПК G10L 15/00 [О. О. Басов, И. А. Сайтов, В. А. Ягупов]; патентообладатель гос. казенное образовательное учреждение высш. проф. образования Академия ФСО России. – № 2012109382/08; заявл. 12.03.2012, опубл. 10.04.2014. Бюл. № 10. – 9 с.: ил.

46. Способ определения ложности передаваемой информации по динамике параметров невербального поведения человека: пат. № 2506048 Российской Федерации: МПК A61B 5/16 / [О. О. Басов, И. А. Сайтов и др.]; патентообладатель гос. казенное образовательное учреждение высш. проф. образования Академия ФСО России. – № 2012145655/14; заявл. 25.10.2012, опубл. 10.02.2014. Бюл. № 4. – 12 с.: ил.

47. Способ оптимизации структуры устройства: МПК G10F 7/62 [О. О. Басов, С.П. Богданов и др.]; патентообладатель: гос. казенное образовательное учреждение высш. проф. образования Академия ФСО России. – № 2013123327/08; заявл. 21.05.2013, опубл. 27.11.2014, бюл. № 33. – 2 с.

48. Способ (варианты) определения психофизиологического состояния человека: пат. № 2546559 Российской Федерации: МПК G10L 19/00; A61B 5/00; G01R 13/00 [О. О. Басов, И. А. Сайтов и др.]; патентообладатель: гос. казенное образовательное учреждение высш. проф. образования Академия ФСО России. – № 2014124624/08; заявл. 17.06.2014, опубл. 10.04.2015, бюл. № 10. – 40 с.: ил.

49. Способ биометрической аутентификации пользователя: пат. № 2546559 Российской Федерации: МПК G06K 9/62 [В. В. Никитин, О. О. Басов и др.]; патентообладатель: гос. казенное образовательное учреждение высш. проф. образования Академия ФСО России. – № 2014129267/08; заявл. 15.07.2014, опубл. 10.06.2015, бюл. № 16. – 10 с.: ил.

50. Басов, О. О. Адаптивный кодек речевого сигнала / О. О. Басов // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2008614094 от 27.08.2008.

51. Басов, О. О. Программа оптимизации структуры цифрового устройства / С. П. Богданов, О. О. Басов, Д. А. Гуляйкин // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2013616099 от 26.06.2013.

52. Басов, О. О. Программа определения параметров текстовых модальностей / О. О. Басов, М. В. Носов, В. В. Никитин, Д. А. Гуляйкин // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014613478 от 27.03.2014.

53. Басов, О. О. Программа формирования характеристик случайного джиттера сигналов текстовых и речевого каналов коммуникации / О. О. Басов, М. В. Носов, В. В. Никитин, Д. А. Гуляйкин // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014615750 от 02.06.2014.

54. Басов, О. О. Программа динамического распределения производственно-технологических функций при изменении психофизиологических состояний исполнителей-операторов АРМ / О. О. Басов, М. В. Носов, П. А. Сысоев, Д. А. Гуляйкин // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014616058 от 10.06.2014.