

Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение
высшего образования
Академия Федеральной службы охраны Российской Федерации

На правах рукописи



Басов Олег Олегович

МОДЕЛИ И МЕТОД СИНТЕЗА
ПОЛИМОДАЛЬНЫХ ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Специальность 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка
информации

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук

Научный консультант:
доктор технических наук, профессор
Сайтов Игорь Акрамович

Орёл – 2016

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	6
Раздел 1. ПРОБЛЕМЫ ПОСТРОЕНИЯ И ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ИНФОКОММУНИКА- ЦИОННЫХ СИСТЕМ.....	18
1.1. Проблемно-классификационный анализ роли, места и условий функционирования инфокоммуникационных систем	18
1.1.1. Инфокоммуникационные системы как объект исследования.....	18
1.1.2. Особенности межличностной коммуникации субъектов ин- формационного пространства	25
1.1.3. Структура межличностной коммуникации	29
1.2. Исследование влияния современного уровня развития многомодальных интерфейсов и сетевых технологий на структуру и функционирование инфокоммуникационных систем.....	36
1.2.1. Предпосылки создания инфокоммуникационных систем на основе многомодальных интерфейсов	39
1.2.2. Номенклатура полимодальных инфокоммуникационных ус- луг	43
1.2.3. Анализ системных свойств современных и перспективных транспортных сетевых технологий.....	47
1.3. Проблемы комплексного моделирования и решения задач анализа, синтеза и оптимизации инфокоммуникационных систем	55
1.3.1. Анализ существующих подходов к комплексному моделиро- ванию и оцениванию качества инфокоммуникационных систем.....	55
1.3.2. Анализ существующих подходов к постановкам и решению задач анализа и синтеза (оптимизации характеристик) инфокоммуникационных систем и их элементов	68

1.3.3. Формализация показателей качества и эффективности полимодальных инфокоммуникационных систем	73
1.4. Концепция исследований. Постановка общей и частных задач исследований.....	83
Выводы по первому разделу	95
Раздел 2. ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ ПОСТРОЕНИЯ ПОЛИМОДАЛЬНЫХ ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ.....	99
2.1. Центральные элементы теории построения полимодальных инфокоммуникационных систем	99
2.1.1. Общая и центральная гипотезы исследования, основные допущения и ограничения	99
2.1.2. Информационные аспекты полимодальности.....	106
2.1.3. Архитектура и принципы построения полимодальных инфокоммуникационных систем	119
2.2. Система моделей полимодальной инфокоммуникационной системы ...	123
2.2.1. Принципы формирования и состав системы моделей	123
2.2.2. Концептуальная модель полимодальной инфокоммуникационной системы	126
2.2.3. Макромодель полимодальной инфокоммуникационной системы	132
2.2.4. Модель структуры программно-математического и информационного обеспечения абонентского терминала полимодальной инфокоммуникационной системы	133
2.2.5. Модель структуры управления абонентским терминалом.....	136
2.2.6. Модели сигналов различных модальностей	137
2.2.6.1. Взаимосвязь метрик, применяемых при обработке сигналов различных модальностей.....	141
2.2.6.2. Представление правила оценивания сигналов различных модальностей	146
2.2.7. Модели полимодальных услуг.....	148

2.2.8. Модели кодирования полимодальной информации.....	161
2.2.8.1. Анализ существующих подходов к построению систем кодирования сообщений избыточных источников	161
2.2.8.2. Математические модели подсистемы кодирования сообщений различных модальностей	171
Выводы по второму разделу	176
Раздел 3. МЕТОД СИНТЕЗА ПОЛИМОДАЛЬНОЙ ИНФОКОММУНИКАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ	178
3.1. Методологические основы применения моделей различной размерности и точности в едином оптимизационном цикле при синтезе полимодальной инфокоммуникационной системы	178
3.1.1. Многоэтапность и иерархичность процедуры синтеза полимодальной инфокоммуникационной системы	179
3.1.2. Формирование множества допустимых системотехнических решений на основе когнитивного моделирования полимодальной инфокоммуникационной системы	183
3.2. Методики и алгоритмы синтеза физической структуры полимодальной инфокоммуникационной системы	187
3.2.1. Постановка задачи синтеза (оптимизации) физической структуры полимодальной инфокоммуникационной системы	187
3.2.2. Методика синтеза структур программно-математического и информационного обеспечения и управления абонентского терминала полимодальной инфокоммуникационной системы ...	189
3.2.3. Оценка минимального объема канального ресурса при передаче сигналов различной модальности. Синтез сети передачи данных	194
3.2.4. Методика и алгоритмы выбора аппаратно-программных средств абонентских терминалов полимодальной инфокоммуникационной системы.....	197

3.3. Способы оптимизации функциональных характеристик аппаратно-программных средств полимодальной инфокоммуникационной системы	206
Выводы по третьему разделу	212
Раздел 4. ПРИЛОЖЕНИЯ РАЗРАБОТАННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ТЕОРИИ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ПОЛИМОДАЛЬНЫХ ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ ДЛЯ НУЖД ДОЛЖНОСТНЫХ ЛИЦ ОРГАНОВ ГОСУДАРСТВЕННОГО ВЛАСТИ.....	215
4.1. Концепция полимодальной инфокоммуникационной системы государственного управления	215
4.2. Применение элементов теории для разработки физических модулей полимодальных инфокоммуникационных систем	218
4.3. Прикладные результаты реализации полимодальных услуг	223
4.3.1. Определение психофизиологического состояния пользователя	223
4.3.2. Определение эмоций абонента по голосу	230
4.3.3. Определение степени алкогольной интоксикации пользователя на основе автоматического анализа речи	235
4.3.4. Реализация услуги «честная видеотелефония».....	240
Выводы по четвертому разделу	253
Заключение	255
ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ	259
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	261

ВВЕДЕНИЕ

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, ког-

нитивное 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 мультиплексирования 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.*

Традиционная межличностная коммуникация людей почти всегда происходит *многомодально* с использованием вербальных и невербальных каналов. Поэтому 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 межчеловеческое 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 человекомашинных 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 *поли-модальных 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 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 строгой, но в то же время 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 таких средств информационного взаимодействия субъектов ИнфП относительно специфики их деятельности.

Объектом исследования являются полимодальные инфокоммуникационные системы.

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

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 распределенных полимодальных инфокоммуникационных систем 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:

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 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;

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*;

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;

разработаны методики решения частных задач синтеза элементов полимодальных систем для различных приложений. Предложена *методика синтеза структуры программно-математического и информационного обеспечения*, обеспечивающая выполнение требований к ПИКС по своевременности и быстро-

действию. Представлена *методика выбора аппаратно-программных средств АТ ПИКС*, обеспечивающая в рамках функционально-структурного подхода улучшение технических характеристики и снижение стоимости элементов (подсистем) средств инфокоммуникационного взаимодействия субъектов ИнфП;

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 используется 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, исследование 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 результаты 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 2015 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.); 18-й международной конференции «Распределенные компьютерные и телекоммуникационные сети: управление, вычисление, связь» (Москва, 2013 г.); 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.); III Международной научно-практической конференции «Современные материалы, техника и технология» (Курск, 2013 г.); XI Международной научно-практической конференции «Современные инструментальные системы, информационные технологии и инновации» (Курск, 2014 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.); восемнадцатой международной научной конференции «Распределенные компьютерные и телекоммуникационные сети: управление, вычисление, связь (DCCN-2015)» (Москва, 2015 г.); IX Всероссийской научно-практической конференции «Территориально-распределенные системы охраны» (Калининград, 2016 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 [33, 38, 39, 41, 203, 204, 234] 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 [14-20, 23, 25, 31, 43, 50, 88-91, 133, 138, 228, 232, 233] 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 [24, 26, 42, 51, 53-58, 79, 180] – подходы к редукции нового объекта – полимодальной инфокоммуникационной системы, а также методики, алгоритмы и результаты решения частных задач синтеза элементов полимодальных систем в различных приложениях; в [21, 22, 28] разработаны подходы к оценке эффективности информационной инфраструктуры в условиях отказа от предоставления традиционных услуг связи в пользу применения у субъектов информационного пространства многомодальных абонентских терминалов; в [27, 230] предложен метод синтеза (оптимизации характеристик) распределенной ПИКС, позволяющий синтезировать физическую структуру системы, а также определять параметры составляющих ее физических модулей; в [29, 32, 34, 36, 37, 40, 45-49, 52, 81, 114, 132,

134, 135, 141-160, 201, 229, 231] разработаны предложения по практическому применению результатов проведенных исследований для обеспечения субъектов информационного пространства информацией требуемого качества; в [13, 30, 35, 44] осуществлено формально-математическое описание общих методологических принципов построения полимодальных инфокоммуникационных систем.

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).

Раздел 1. ПРОБЛЕМЫ ПОСТРОЕНИЯ И ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ

В настоящем разделе анализируются проблемы построения и эксплуатации ИКС, вытекающие, с одной стороны, из особенностей межличностной коммуникации субъектов ИнфП (подраздел 1.1) и их влияния на структуру и функционирование ИКС (подраздел 1.2), а с другой стороны, из сложившихся подходов к моделированию и решениям задач по их анализу и синтезу (подраздел 1.3). На основе структуризации выявленных проблем теории и практики в подразделе 1.4 формулируется концепция настоящих исследований, обосновывается необходимость комплексного применения структурно-функционального и функционально-структурных подходов для описания предметной области, производится формальная постановка общей проблемы и частных задач анализа и синтеза облика полимодальных ИКС. Вопросы, рассмотренные в настоящем разделе, нашли отражение в [21, 22, 27, 28, 33, 38, 39, 41, 203, 204, 234].

1.1. Проблемно-классификационный анализ роли, места и условий функционирования инфокоммуникационных систем

1.1.1. Инфокоммуникационные системы как объект исследования

Повсеместное создание, развитие и массовое применение новых информационных и коммуникационных технологий и аппаратно-программных средств их реализации приводят к коренному изменению образа жизни и качества труда людей. Инструментом преобразования общества, осуществления перехода человечества от индустриального к информационному обществу является *информатизация*.

В процессе информатизации происходит быстрый рост ИнфП человека и его последовательная трансформация в единое ИнфП с мощной развитой инфокоммуникационной структурой и единым информационным фондом. Согласно

[217] под *информационным пространством* будем понимать физическое пространство, в котором циркулируют информационные потоки. ИнфП характеризуется *объемом* циркулирующей (передаваемой и хранимой) в нем информации, *мощностью* и *интенсивностью* информационных потоков, *информационной инфраструктурой*. Мощность и интенсивность информационных потоков характеризуют способность ИнфП производить (воспроизводить) информацию и частоту информационного обмена. Основными характеристиками информационной инфраструктуры являются качественный и количественный состав элементов инфраструктуры, их пространственное расположение и взаимосвязь, информационная производительность и пропускная способность элементов и всей инфраструктуры в целом [215].

Информационная инфраструктура обеспечивает общие условия доступа всех потенциальных потребителей (субъектов ИнфП) к необходимой информации, предоставляет им возможность использования новых информационных технологий. От уровня развития информационной инфраструктуры зависит скорость получения информации, ее достоверность, полнота и стоимость, реакция на изменение информационных потребностей пользователей и своевременное формирование необходимых новых видов информации и информационных услуг [216].

Информационная инфраструктура в качестве главных компонент включает:

- информационные ресурсы, представленные в виде системы баз данных и знаний, а также объединяющих их информационно-вычислительных сетей;
- средства информационного (коммуникативного) взаимодействия субъектов и их доступа к информационным ресурсам на основе соответствующих информационных и коммуникационных технологий.

В большинстве классических библиографических источников предметной области и руководящих документах отрасли «Связь и телекоммуникации» указанные средства объединяются понятием *«инфокоммуникационная система»*, а под результатом функционирования информационной инфраструктуры понимается услуга связи (при информационном взаимодействии пользователей) и (или) услуга информатизации (при доступе пользователей к информационным ресурсам).

С целью вскрытия проблем инфокоммуникационного обеспечения субъектов ИнфП на современном этапе целесообразно использовать системный подход [62]. Объект исследования – ИКС – понимается как кибернетическая система, а сам процесс исследования – системным по своей логике и применяемым средствам [197]. Процесс эволюции ИКС представляется в виде взаимосвязанной последовательности решения проблем теории и практики, а также связывающих их проблем перехода от практики к теории (моделирование) и от теории к практике (реализация). В данных условиях необходима обобщенная модель реальной системы, которая должна стать инструментом для описания, понимания и воздействия на объект исследования, а также основой для последующей формализации задач по синтезу структуры ИКС и оптимизации ее функциональных характеристик (ФХ).

Ниже предлагается следующая символическая модель ИКС (рис. 1.1). Внешние системы на ней классифицируются на три типа [179]: потребитель результатов функционирования ИКС (субъекты ИнфП, пользователи, абоненты¹), источник ресурсов и мешающая система (среда функционирования (СФ)).

Внутренняя структура круга "ИКС" характеризует накопленный в результате эволюционного развития обобщенный внутренний ресурс системы. Информационное содержание этого ресурса отражает правило (алгоритм, закономерность), по которому действует система. Оно характеризует исходное состояние, от которого зависит результат дальнейшего развития системы, а также определяет актуальную функциональную зависимость процессов на входах от процессов на выходах. Количественные параметры информационного содержания ИКС являются ее внутренними функциональными характеристиками, а количественные параметры взаимодействия с внешними системами – внешними ФХ.

Входы и выходы ИКС (рис. 1.1) по отношению к внешним системам (пользователи, источник ресурсов, СФ) можно интерпретировать как группы взаимных требований (к качеству обслуживания пользователей [80], затратам, устойчиво-

¹ В настоящей работе понятия «абонент» и «пользователь» тождественны и определяют субъектов межличностной коммуникации.

сти) и возможностей их выполнения, соответственно. Внешние ФХ системы при этом указывают на ожидаемый результат ее функционирования, а внутренние – на средства его достижения. Проблемы обеспечения соответствия требований и возможностей их выполнения по каждой группе входов (выходов) являются движущей силой развития ИКС в соответствующем направлении путем изменения ее информационного содержания, т. е. путем оптимизации ее ФХ.

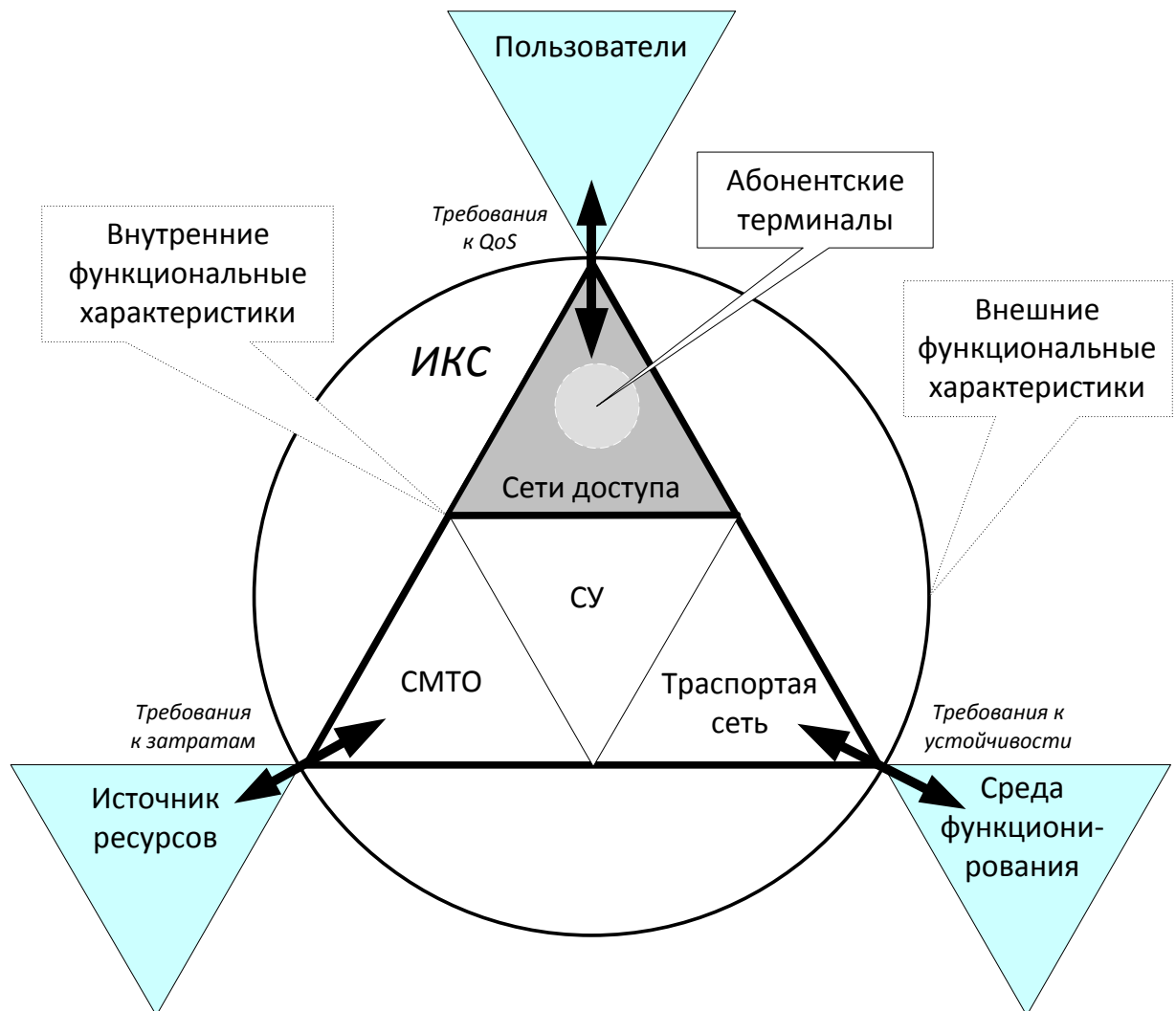


Рисунок 1.1 – Символическая модель ИКС

Развитие ИКС шло и продолжает идти в направлении поглощения функций метасистемы по преобразованию информации в точках входа и выхода [179]. Внутренняя структура ИКС усложнялась. Это привело к формированию транспортных сетей и сетей доступа (СД). Последние взяли на себя задачу по согласо-

ванию ИКС с потребителями услуг связи, а также задачи по обеспечению безопасности информации. Транспортные сети сконцентрировали свои усилия на согласовании требований СД (протоколов сетевого уровня ЭМВОС) со средой распространения сигналов посредством применения тех или иных методов (протоколов канального и физического уровней ЭМВОС) их передачи (рис. 1.2). Совокупность методов передачи сообщений через транспортную сеть и средств их реализации составляют понятие *технология передачи* [7, 60, 80, 31, 126, 205].

Согласование ИКС с источниками ресурсов взяли на себя службы материально-технического обеспечения (СМТО), а общую координацию процессов функционирования появившихся подсистем ИКС взяла на себя система управления (СУ) функционированием ИКС, представляющая собой иерархическую автоматизированную организационно-техническую структуру. Взаимодействие ИКС с метасистемой (источниками ресурсов и потребителями услуг) происходит через специальные подсистемы: СМТО и абонентские терминалы (АТ). Взаимодействие с СУ и средой функционирования осуществляется напрямую [80, 136, 179].

Мешающим воздействием СФ (рис. 1.1) далее считается все то, что не позволяет элементам метасистемы (без дополнительных усилий со стороны ИКС) иметь в заданный момент в нужном месте требуемое сообщение. Следовательно, СФ охватывает не только действительно внешнюю (по отношению к элементам ИКС) среду, но и сами эти элементы, и элементы метасистемы (пользователи), т.е. все то, что может быть источником неопределенности результатов функционирования элементов ИКС в процессе обмена сообщениями. Обеспечение требований к устойчивости является, фактически, основным процессом в ИКС, на который расходуется внешний и внутренний ресурс. Как известно из теории систем [68], заданная устойчивость системы может быть достигнута путем установки пассивной преграды против воздействий СФ или возможна активная защита от них. Пассивные способы обеспечения устойчивости предусматривают однократный или регулярный нормированный расход ресурса без отслеживания текущего воздействия СФ. Активная защита состоит в управляемом (в соответствии с наблюдаемым воздействием СФ) расходе ресурса, но потребует расходов на самоуправление.

На рисунке 1.2 приведена символическая классификация основных мешающих воздействий СФ на ИКС. Их декомпозиция на антагонистическую, неуправляемую и кооперативную среды в системном плане символизирует упорядоченное возрастание степени защиты ОТС от максимально пассивной до максимально активной соответственно. Видно, что не для всех реально мешающих воздействий имеется соответствующее понятие свойства устойчивости ИКС, что свидетельствует о недооценке некоторых уязвимостей, в частности, со стороны кооперативной среды, в качестве которой могут выступать взаимодействующие подсистемы ИКС. Особенно важно, что неопределенность для элементов ИКС текущих процессов в СД, вызванных изменениями текущих потребностей метасистемы (элемент "несогласованность требований"), часто является причиной невозможности обеспечения заданного уровня *качества обслуживания пользователей* даже при наличии достаточного ресурса пропускной способности.

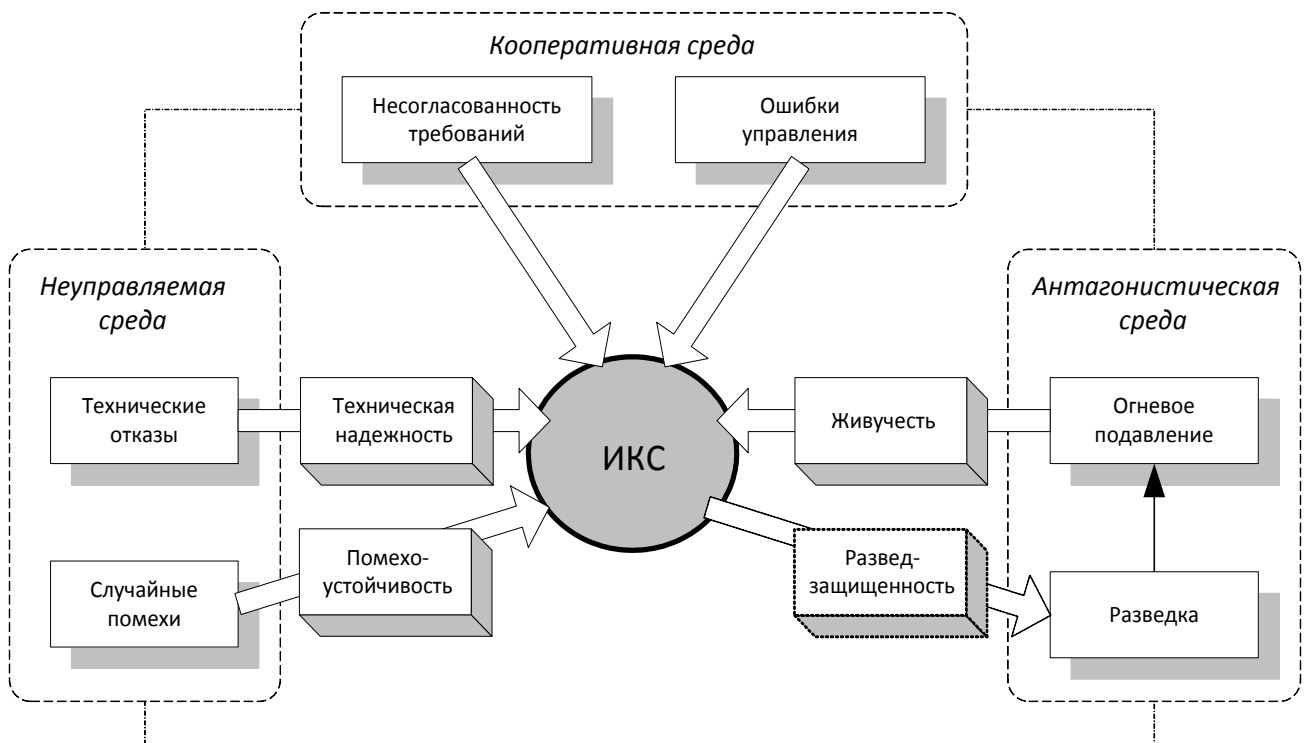


Рисунок 1.2 – Классификация дестабилизирующих факторов и защищенности от них со стороны ИКС

За предоставление разнообразных услуг связи и информатизации пользователям отвечает *уровень услуг ИКС* (рис. 1.3), объединяющий АТ СД. *Уровень коммутируемой среды* ИКС включает в себя средства, обеспечивающие распределение информации между пользователями в соответствии с ее назначением и видом. На *уровень транспортной сети* традиционно возлагаются функции передачи кадров (блоков данных) между СД, удаленными друг от друга в пространстве с заданной своевременностью и достоверностью. В современных концепциях построения ИКС (*IDN, NGN, IMS* и пр.) этот уровень считается архитектурно независимым, а его стыки с вышестоящим уровнем – отдельными объектами стандартизации [60, 121, 188, 205, 281].

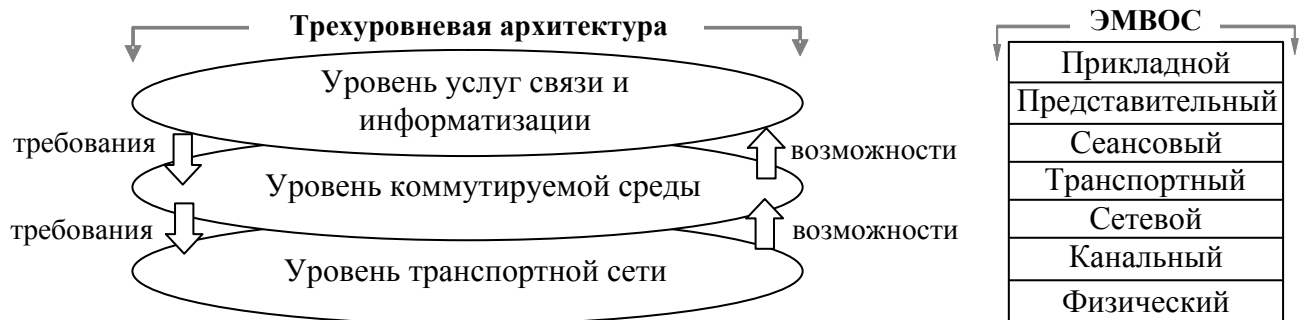


Рисунок 1.3 – Традиционное трехуровневое представление архитектуры ИКС и соответствующие им уровни ЭМВОС

С точки зрения пользователей от ИКС требуется обеспечивать передачу информации в нужные моменты времени между заданными точками пространства в требуемой форме, определенного объема и за ограниченное время. В идеальном случае, обмениваясь необходимой информацией, пользователи (на уровне услуг) ИКС не должны (не обязаны) вообще замечать ее существования. Задача по построению такой "квазиидеальной" инфокоммуникационной инфраструктуры является основной постоянно возрождающейся проблемой, требующей все новых и новых решений по мере изменения и расширения потребностей метасистемы. Исходя из качества обслуживания пользователей, уровень услуг выдвигает к характеристикам расположенных ниже уровней совокупность требований [80, 177].

Уровень транспортной сети обязан предоставить каналы (тракты) в таком количестве и с таким качеством, чтобы сообщения были *транспортированы* [7, 78] с качеством, заданным верхними уровнями. При отсутствии в транспортной сети требуемого объема канального ресурса пользователь получит отказ, а заявка будет потеряна [117, 188], либо блоки данных будут доставлены несвоевременно. Видно, что возможности нижележащих уровней определяют ФХ уровней, расположенных выше.

В последние годы наблюдается тенденция обезличивания отдельных услуг связи и информатизации или их слияние – абонент часто запрашивает один вид сервиса под названием «*соединение с сетью*». Эта «услуга» подразумевает возможность получения им доступного или *наиболее удобного* по его (абонента) мнению способа взаимодействия. Понятие «удобство» реализации услуги «соединение с сетью» определяется пользователем в соответствии со своими индивидуальными предпочтениями и физическими ограничениями, а также свойствами окружающей среды, в которой происходит коммуникация. Следовательно, объективным требованием времени является всестороннее исследование процесса взаимодействия абонентов через ИКС с позиций максимизации удобства традиционной межличностной коммуникации, когда люди общаются друг с другом непосредственно, а также особенностей такого общения среди пользователей ИнфП.

1.1.2. Особенности межличностной коммуникации субъектов информационного пространства

В соответствии с современными взглядами на информационное взаимодействие ИКС должна предоставлять возможность передачи разнородных видов информации от различных источников. *Типовой перечень услуг*, предоставляемых субъектам ИнфП федерального и регионального уровней, весьма ограничен и включает в себя:

- телефонную связь, в том числе с подвижными объектами;
- видеотелефонную и видеоконференцсвязь;

- передачу данных (телеграфных, факсимиле, электронной почты; доступ к удаленным базам данных и пр.), в том числе с подвижными объектами;
- документальную связь;
- передачу текстовых сообщений и сигналов оповещения.

В процессе инфокоммуникационной деятельности формируется общественное мнение как результат рефлексивной оценки его субъектами фактов окружающей действительности. Для предотвращения манипулирования общественным мнением необходимо наличие множества альтернативных источников информации и свободы доступа к ним как всех граждан и институциональных структур гражданского общества, так и должностных лиц (ДЛ) системы государственного управления (СГУ). В рамках информационного обеспечения в настоящее время реализуется предоставление *аналитических услуг*, в том числе анализ, моделирование и прогнозирование развития ситуации в политической, экономической и др. сферах деятельности, и качественных *информационных услуг*, в том числе:

- информационное сопровождение мероприятий органов государственной власти (ОГВ);
- информационное взаимодействие органов государственной власти с гражданами;
- создание и ведение государственных информационных ресурсов;
- создание и поддержка информационных порталов органов государственной власти;
- организация сетевых конференций.

Одним из самых мощных источников значимой социальной, политической и экономической информации является сама СГУ. В гражданском обществе его институциональные структуры выступают в роли не только потребителей, но и источников первичной информации. В достаточной мере консолидированное групповое мнение может быть сформировано только при наличии свободы коммуникаций и обмена информацией на межличностном и групповом уровнях, а также между институциональными структурами общества и власти [130, 189].

При существенно ограниченном для граждан и их объединений доступе к такой информации, неполном и некачественном ее представлении возможности осуществления действенного гражданского контроля резко сокращаются. Это хорошо понимают недобросовестные чиновники, которые при отсутствии контроля информационной деятельности органов власти всегда и всеми доступными им средствами будут стремиться скрыть информацию и препятствовать ее предоставлению гражданам в полном объеме. В свою очередь указанный факт обуславливает повышение требований общества к содержанию и качеству профессиональной деятельности должностных лиц СГУ, их квалификации, профессиональным и личностным особенностям [2]. Данный вид деятельности содержит ряд противоречий: с одной стороны, он должен обеспечивать соблюдение и защиту прав и интересов граждан и институциональных структур гражданского общества, с другой – обязан способствовать реализации федеральных законов и законов субъектов РФ, которые направлены скорее на соблюдение интересов государства, нежели интересов отдельных граждан.

Результатами деятельности ДЛ являются правовые нормы различного уровня управления, социокультурные нормы отношений, нормы отчетности и ответственности, ресурсного обеспечения материальной деятельности, определяющие направления и конкретные решения по повышению качества управления государством и качества жизни населения, обеспечению требуемого уровня национальной безопасности. Возникающие при этом диалектические противоречия между результатами труда государственных служащих и общественной формой их оценки можно считать спецификой государственной службы как профессиональной деятельности. Следствием подобного рода противоречий выступают негативный психоэмоциональный фон и конфликтность как типичная среда профессионального общения ДЛ СГУ [124].

Изменение условий жизнедеятельности и расширение сферы коммуникативного взаимодействия субъектов СГУ, а также постоянно растущие нагрузки на их психическую деятельность делают процессы общения ДЛ органов управления все более разнообразными и эмоционально напряженными. Характер сведений,

циркулирующих в ходе делового общения должностных лиц СГУ, требует обеспечения максимальной степени доверительности и безопасности при обмене информацией. При этом все четче прослеживается трансформация формально-ролевого общения в деловое, при котором наряду с обменом информацией для достижения определенного результата должны учитываться особенности личности абонента, его настроение, физиологическое и психоэмоциональное состояния. Следовательно, на эффективность управленческих решений влияют все стороны общения субъектов СГУ: коммуникативная (обмен информацией), интерактивная (обмен действиями) и перцептивная (познание друг друга партнерами по общению). Однако полноценно эта закономерность проявляется только при непосредственном (личном) контакте корреспондентов, и существенно ограничена при их общении через технические средства – средства телекоммуникации (связи).

Ситуацию усугубляет быстрый рост ИнфП человека (как «рядового» гражданина, так и ДЛ СГУ), которое достигает размеров ИнфП общества, а последнее становится единым ИнфП с мощной высокоразвитой инфокоммуникационной инфраструктурой и единым информационным фондом. Значительно возрастают мощность и интенсивность информационных потоков, а также объемы информации, циркулирующие в ИнфП СГУ.

До недавнего времени такой рост подчинялся экспоненциальному закону, в настоящее время имеются все признаки наступления информационного «взрыва». Так, если в прошлом столетии удвоение информации происходило примерно за пятьдесят лет, то в данный момент аналогичный результат получается за промежуток времени около года [215]. При этом каких-либо признаков замедления темпов роста объема информации в ближайшем будущем не наблюдается.

Такое изменение ИнфП несомненно вступит в противоречие с психофизическими возможностями человека к восприятию информации. Человек способен воспринимать (принимать и перерабатывать) потоки информации, интенсивность которых не превышает 100 бит/с. В описанных выше условиях коммуникативного взаимодействия субъектов ИнфП, в частности ДЛ СГУ, указанное значение существенно снижались. Если интенсивность поступающего потока информации превы-

шает допустимую, то пропускная способность человека начинает снижаться, вплоть до полного прекращения восприятия поступающей информации.

Увеличение объема информации социальной, экономической и политической значимости, не учитываемых и не агрегируемых государственной властью при принятии решений частных и корпоративных интересов граждан и институциональных структур гражданского общества, создает угрозу потери социально-политической стабильности и устойчивости государственного управления и политической системы в целом. Эта угроза многократно усиливается, когда государственные решения реально или мнимо ущемляют определенные личные и групповые интересы, а государственная власть игнорирует необходимость разъяснять обществу смысл и содержание своих решений и действий, обосновывать их приоритетность для достижения общенациональных целей развития по отношению к частным интересам. Для предотвращения такой угрозы в демократическом государстве реализуется постоянно действующий контур инфокоммуникационных взаимодействий между гражданским обществом и государственной властью, который образует каналы коммуникаций «общество – власть» и «власть – общество».

Таким образом, государственно важной в текущих геополитических условиях является проблема разработки таких организационно-технических систем, которые бы обеспечивали максимальную эффективность управленческих решений посредством организации безопасного информационного обмена между субъектами ИнфП с максимально полным сохранением коммуникативной, интерактивной и перцептивной сторон их межличностного общения [39].

1.1.3. Структура межличностной коммуникации

При любой форме коммуникативного взаимодействия (диалог или полилог) [33, 38] отправитель передает с помощью того или иного канала коммуникации, а получатель (или несколько получателей) принимает некое сообщение (рис. 1.4). В результате получатель должен отреагировать – обдумывание информации, согласие или несогласие, непонимание, агрессия и т. п. В любом случае все это вы-

ражается в обратной связи – ответной реакции или сообщении. При этом роли у субъектов коммуникации меняются.

Препятствуют эффективному общению помехи, которые искажают смысл сообщения, названные барьерами коммуникации. Они могут быть объективными (например, плохая телефонная связь, «низкоскоростной» Интернет) или субъективными (незнание собеседником терминологии). Кроме того, большое значение имеет контекст – окружающая обстановка, внешние условия, конкретная ситуация, в рамках которой происходит коммуникация между субъектами [61]. Следовательно, объективной задачей современной предметной области ИКС является **минимизация или полное устранение объективных и субъективных барьеров общения.**

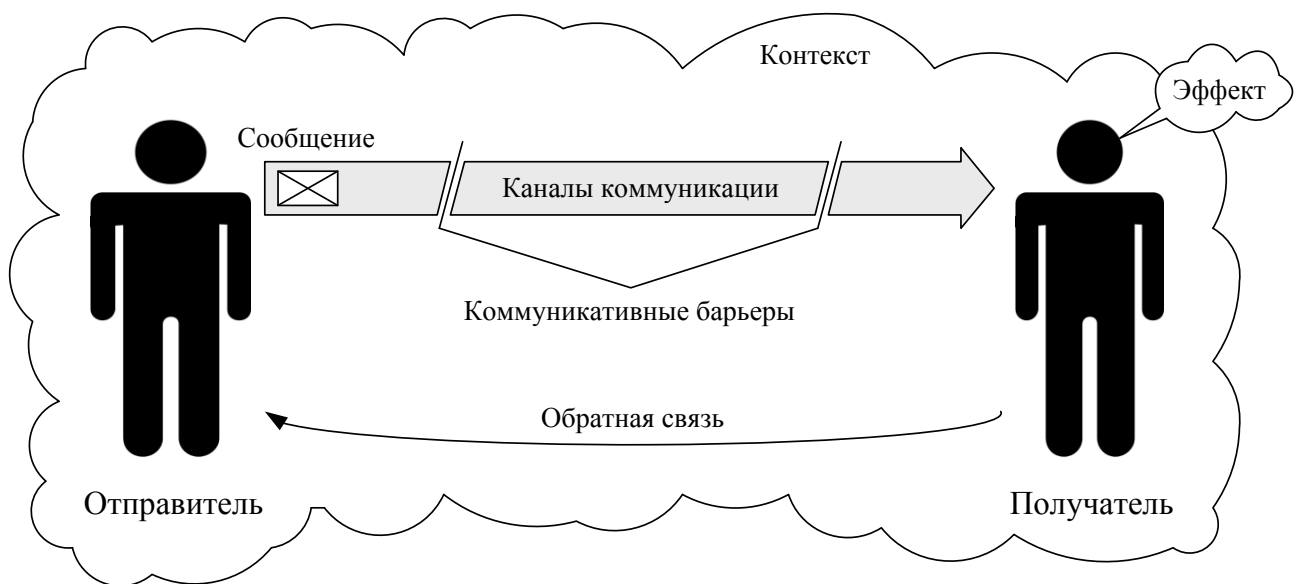


Рисунок 1.4 – Структура межличностной коммуникации

Ключевыми элементами структуры общения являются каналы коммуникации, наиболее часто разделяемые на вербальные и невербальные.

С помощью вербальной коммуникации передается смысл произносимых сообщений, тогда как невербальные каналы необходимы для того, чтобы регулировать течение коммуникативного процесса, создавать психологический контакт между собеседниками; обогащать информацию, передаваемую вербальными средст-

вами, направлять истолкование словесного текста; выражать эмоции и отражать истолкование ситуации. По данным антропологов и этологов, информация, передаваемая словами (активная речь), составляет лишь около 7 % от общего объема информации, получаемой человеком, тогда как на долю невербальных сигналов приходится до 93 % (мимика, позы, жесты, касания, запахи составляют до 55 %, а на долю голосовой паралингвистической составляющей приходится до 38 %). В среднем человек говорит всего 10–12 мин в день, причем вербальный компонент составляет лишь 35 % смысловой нагрузки, а невербальный гораздо больше – 65 % [61]. Невербальная коммуникация реализуется на основе акустического, визуального, символического, тактильного и ольфакторного каналов (рис. 1.5) [38].

Акустический канал коммуникации включает в себя:

1) паралингвистический (вокальный) канал, определяющий, как передается сообщение по вербальному (речевому) каналу. При этом соотношение объемов передаваемой по речевому и вокальному каналам составляет примерно 1:3;

2) экстралингвистический канал, с которым обычно ассоциируют несвязанные с речью элементы, такие как кашель, смех, вздохи, плач, говор, заикание и другие индивидуальные особенности произношения.

Визуальный коммуникационный канал служит для передачи информации посредством мимики, жестов, поз, контакта глазами (взгляда), а также пространственно-временной организации общения. Анализ способности контролировать проявление эмоций показал, что люди в большей степени способны управлять мимикой, нежели жесты, позы или паралингвистический канал. Человек обращает первостепенное внимание на лицо собеседника, которое в свою очередь несет в себе взаимодополняющую информацию. Основываясь на [249], выделяют три типа сигналов, связанных с мимикой:

1) статичные (к этой категории относятся цвет кожи, форма лица, особенности строения черепа и распределения мягких тканей на лице, расположение и форма бровей, глаз, носа и губ);

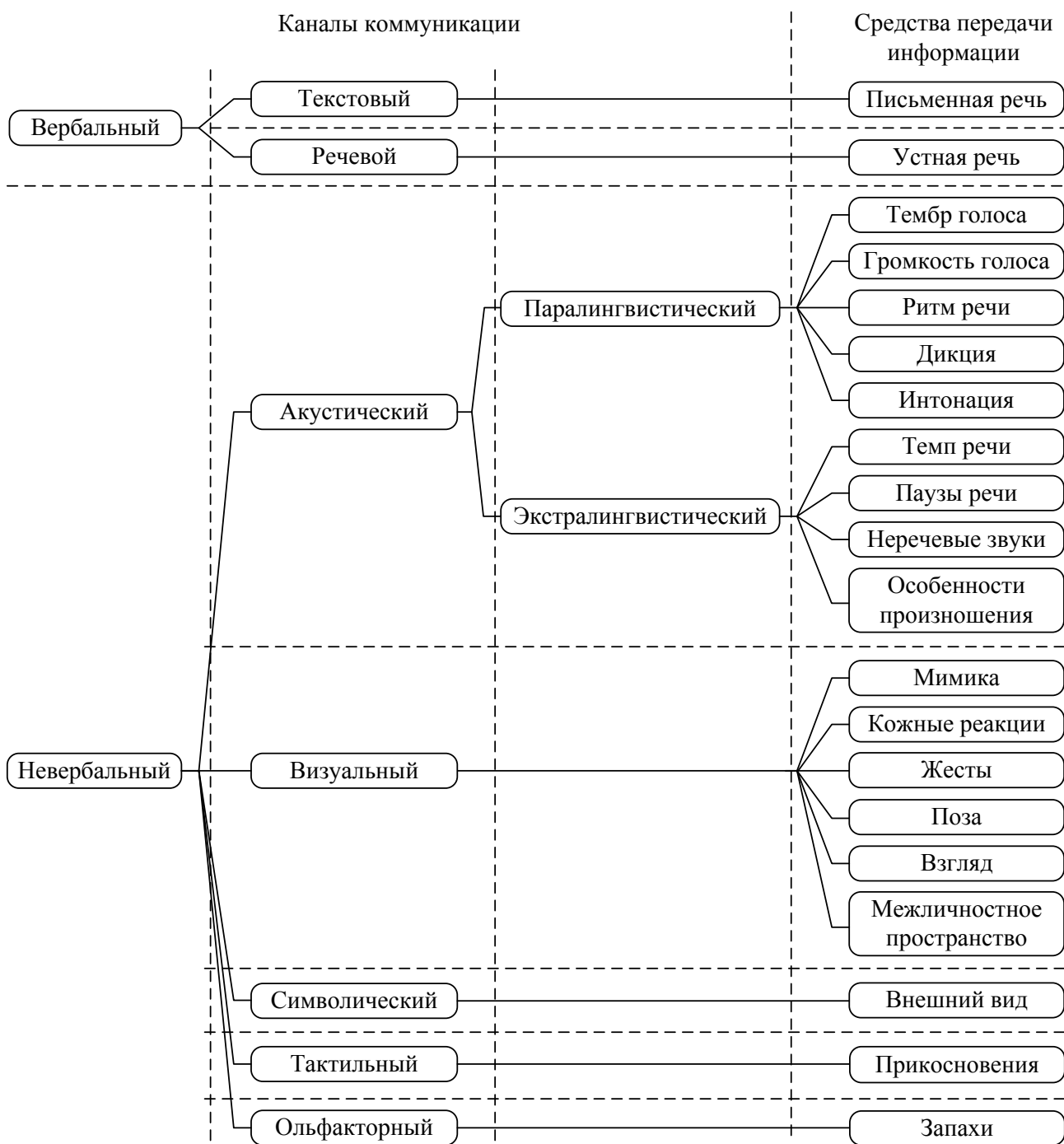


Рисунок 1.5 – Основные каналы межличностной коммуникации

2) медленные сигналы, несущие в себе информацию об изменениях внешности во времени (например, форма и расположение постоянных морщин, степень гладкости кожи, появление пигментных пятен);

3) быстрые сигналы, воспроизводящиеся за счет движения лицевых мышц и приводящие к временным изменениям внешности, сдвигам в толщине мягких

тканей на лице и временным морщинам. К быстрым сигналам относится также микромика – микровыражения, длящиеся доли секунды.

Мимика лица отражает информацию об эмоциях, настроении, отношении человека к происходящему, о его характере, принадлежности к социальному слою, также о возрасте, поле и расовом происхождении. Человеческие эмоции порождают типичную мимическую реакцию, связанную с деятельностью лицевых мышц. Работы П. Экмана с соавторами [213] показали, что каждая базовая эмоция связана с конкретной мышечной реакцией, при этом лицо принимает определенное выражение. Эмоциональная мимика не передается путем статичных или медленных сигналов, но они могут оказывать существенное влияние на субъективное восприятие конкретного эмоционального выражения.

Мимика человека имеет индивидуальные особенности, связанные с антропологическим строением лица и его кожными реакциями (покраснение, побледнение, потоотделение) на внешние раздражители, физиологическое и психоэмоциональное состояния.

Жестовая коммуникация играет важную роль в человеческом общении. На протяжении всей своей эволюции человек применял жестикуляцию, умел понимать и оценивать эмоциональное состояние собеседников по спонтанным движениям их тела, рук и ног. В семиотике под словом «жест» понимается движение телом и конечностями (руками, ногами), которое служит конвенциональным знаком. В этологии человека под жестами чаще подразумевают только движения руками. В науке принято подразделять все жесты на две большие группы – эмоциональные выражения и сигналы диалога.

В арсенале человека присутствует масса жестов и телодвижений, принадлежащих к категории эмоциональных выражений, служащих хорошей подсказкой для оценки его внутреннего эмоционального состояния. Они часто носят врожденный характер. Эмоциональная жестикуляция является неотъемлемой частью человеческого общения, она сопровождает речь бессознательно и даже в тех случаях, когда партнеры не видят друг друга (например, при телефонном разговоре).

Жесты, являющиеся сигналами диалога, осваиваются путем обучения и варьируются от культуры к культуре и в большинстве случаев выполняются с помощью движений руками. К ним относятся:

1) жесты-иллюстраторы, помогающие иллюстрировать синхронную с ними речь (например, жест «пожатие плечами и разведение рук в стороны», сопровождающий фразу «не знаю»);

2) регуляторы – жесты, направленные на поддержание коммуникации (кивок или подмигивание);

3) эмблемы – однозначно понимаемые движения, имеющие прямой вербальный аналог (например жест «ОК»);

4) *указательный жест*, использующийся, когда необходимо выделить какой-то объект, не прерывая диалога.

Аналогичную функцию также выполняет взгляд. Кроме того, частота и характер взгляда (его длительность и угол направленности) могут указывать на характер отношения к данному партнеру [162]. В пределах традиционной культуры взгляд, обращенный на другого человека, может быть направлен на разные области лица и тела и в зависимости от этого нести различную информацию о характере общения. Так, например, деловой взгляд концентрируется на области лба и глаз собеседника и создает серьезную атмосферу. Показано, что частота взглядов, направленных на более выше-стоящего (по должности или социальному статусу) индивида, много выше, чем частота взглядов, полученных подчиненным от доминанта.

Составной частью невербальной коммуникации является *пространственное поведение* человека [250]. Дистанция при общении взаимосвязана с громкостью голоса, визуальным контактом, взаимной ориентацией тел партнеров, характером тактильных контактов, темой разговора и другими параметрами. Пространственное поведение человека обладает суммой видовых, культурных и индивидуальных характеристик. Можно выделить целый ряд видоспецифических характеристик пространственного поведения человека, связанных с полом и возрастом взаимодействующих партнеров.

Одежда, украшения, татуировки на теле человека и другие заметные особенности внешности являются уникальным человеческим феноменом – *символической невербальной коммуникацией*. Склонность судить о людях по их внешнему виду глубоко укоренена в человеческой природе, и порой одного взгляда бывает достаточно, чтобы сложилось впечатление о характере собеседника, причем это впечатление оказывается очень сильным.

Самой персонифицированной формой общения является *тактильная коммуникация*. Касания рукой, поглаживания, объятия и пр. оказывают на человека успокаивающее воздействие. Различия в качестве и количестве межличностных тактильных контактов позволяют объективно судить о типе отношений между собеседниками в пределах каждой культуры [216].

Долгое время предполагалось, что обоняние (*ольфакторный канал коммуникации*) не играет существенной роли в жизни человека и ведущим каналом коммуникации у него является визуальный. Однако такая точка зрения нуждается в серьезном пересмотре. Исследователи выделяют несколько исходных составляющих компонентов запаха индивида: индивидуальный биологический запах, связанный с генотипом человека; вещества, которые человек получает с пищей и питьем; и парфюмерные изделия, которыми он пользуется. Установлено, что люди способны распознавать друг друга по запаху [61], а индивиды, обладающие развитыми ольфакторными способностями, могут передавать информацию об опасности [216].

Несмотря на то, что через невербальный канал коммуникации [59, 61, 64, 119] передается до 93 % всей информации собеседнику, психика человека работает таким образом, что в ходе коммуникативного акта контролируется лишь вербальный канал коммуникации. Собственный невербальный канал при этом остается во внимании человека косвенно, часто на бессознательном уровне. Таким образом, собеседники могут контролировать свои слова и мысли, но вот искренние чувства, которые выражаются через мимику, жесты, взгляд, контролировать очень сложно. Психологи считают [119], что правильная интерпретация невербальных сигналов является важнейшим условием эффективного профессионального (делового) общения. Именно используя такие закономерности при проектировании

ИКС можно добиться серьезных успехов на пути минимизации объективных барьеров межличностной коммуникации.

1.2. Исследование влияния современного уровня развития сетевых технологий и многомодальных интерфейсов на структуру и функционирование инфокоммуникационных систем

Большинство существующих ИКС обеспечивает весьма ограниченный способ инноваций в области взаимодействия: голосовой ввод с помощью узконаправленного микрофона, фиксацию низкокачественного изображения с помощью видеокамеры, печать с помощью клавиатуры, рукописный ввод с использованием сенсорных экранов, управление виртуальными объектами курсором «мыши», отображение визуальной информации в виде текста и изображений на экране монитора и моно- или стереофоническое воспроизведение аудиосигнала. При этом в каждом приложении используются свои каналы коммуникации, позволяющие реализовать только коммуникативную (обмен информацией) сторону общения. В ходе проведенного в п. 1.1 анализа следует, что современные ИКС часто становятся источником объективных барьеров межличностной коммуникации. Так, например, при видеоконференции используются вербальный, акустический и визуальный каналы коммуникации, однако отсутствуют тактильный и ольфакторный (рис. 1.6).

Существует несколько направлений поиска путей преодоления выявленных противоречий в коммуникативном взаимодействии субъектов ИнфП посредством технических систем [215].

Первое направление связано с выявлением и использованием новых, существующих, но пока не до конца исследованных психофизических способностей человека, позволяющих многократно увеличивать его информационную пропускную способность.

Второе направление связано с усилением известных интеллектуальных способностей субъектов ИнфП. Основным путем реализации данного направления является создание *новых методов обработки и представления информации, пере-*

дачи все большей доли информационной деятельности информационным системам, создаваемым на базе новых информационных и коммуникационных технологий и аппаратно-программных средств (АПСС).

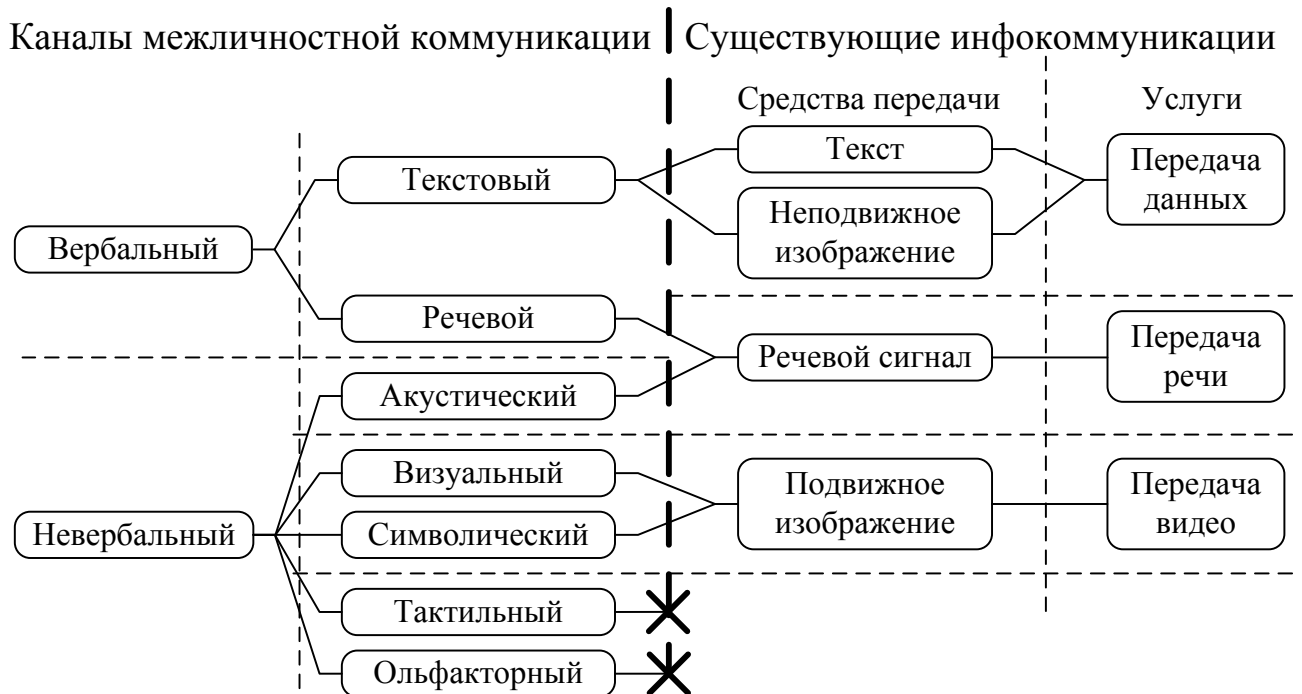


Рисунок 1.6 – Проекция средств передачи информации при межличностной коммуникации на существующие инфокоммуникационные системы

Третье направление заключается в создании «коллективного разума» человечества. Фактически это означает распараллеливание информационных процессов между членами общества (ДЛ СГУ) при решении сложных интеллектуальных задач.

Для решения глобальной проблемы коммуникативного взаимодействия субъектов ИнфП посредством технических систем далее предлагается использовать новые методы обработки и представления информации, реализуя *многомодальное взаимодействие* (рис. 1.7). Здесь под *модальностью* следует понимать принадлежность отражаемого раздражителя к определенной сенсорной системе – части нервной системы человека, ответственной за восприятие определенных сигналов из окружающей или внутренней среды [137, 202].

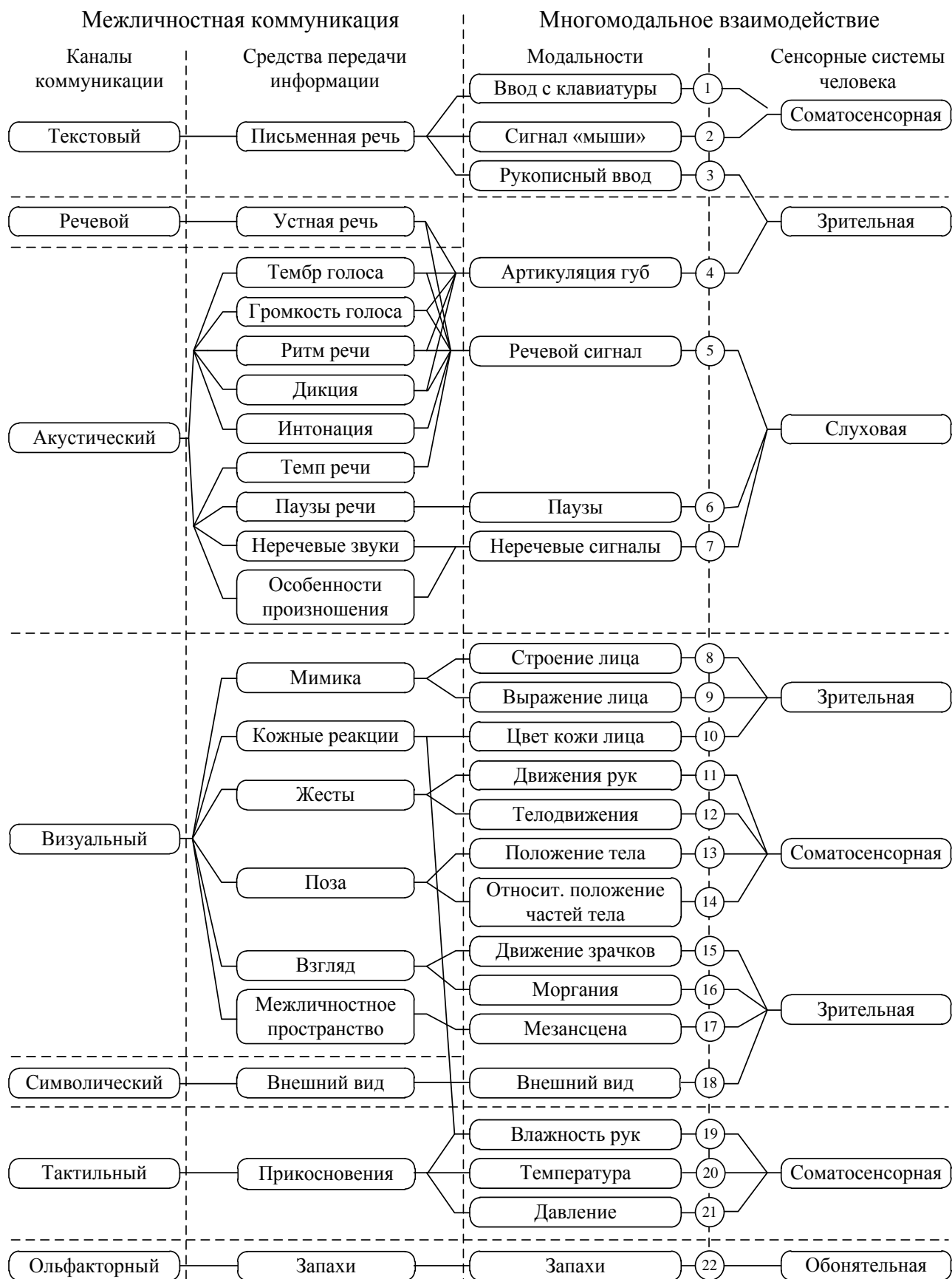


Рисунок 1.7 – Многомодальный характер межличностной коммуникации

1.2.1. Предпосылки создания инфокоммуникационных систем на основе многомодальных интерфейсов

В рамках решения частной проблемы человекомашинного взаимодействия разработаны *многомодальные интерфейсы* – системы, объединяющие различные средства ввода (передачи) информации в едином пользовательском интерфейсе человекомашинного взаимодействия [102, 173, 175, 267].

В таких системах информация от различных видео, аудио, тактильных коммуникативных каналов должна непрерывно отслеживаться и обрабатывается, создавая реальное или виртуальное окружение, позволяющее удовлетворить потребности пользователя.

Модальности в человекомашинном взаимодействии принято подразделять на входные, в которых информация поступает от человека к машине, и выходные, когда потоки информации идут от машины к человеку. Основная проблема при разработке входных многомодальных интерфейсов обусловлена необходимостью использования надежных методов распознавания сигналов различных модальностей и их объединения. Для вывода информации пользователю необходимы аудиовизуальные интерфейсы на базе средств мультимедиа (графические, аудио, видео и речевые интерфейсы, анимированные помощники-аватары и т. д.).

Современные достижения в области обработки речи, компьютерного зрения и анализе сцен позволяют сделать прорыв в области взаимодействия человека не только с компьютером, но и с ИКС в целом. Параллельно с совершенствованием методов цифровой обработкой сигналов проводятся исследования процессов мышления и коммуникации как между людьми, так и человека с машиной. Моделирование задач взаимодействия, построение диалоговых систем взаимодействия осуществляются с использованием достижений когнитивной психологии и эргономики. Такой подход позволяет выбирать оптимальные каналы коммуникативного взаимодействия и способы синхронизации различных входов и выходов модальностей.

В настоящее время в мировой практике многомодальные интерфейсы уже используются в некоторых прикладных областях: картографических и медицинских системах, робототехнике, мобильной связи, web-приложениях и пр. [221, 235-237, 240, 254, 255, 267, 276, 283, 287]. В России научные исследования по данному направлению начались относительно недавно [93-104, 107, 172-176, 214]. Их успешная реализация усложняется тем, что для решения возникающих задач необходимо объединять усилия различных по роду научной деятельности ученых.

Стоит также отметить, что специалисты IBM в конце 2012 года прогнозируют² новую эпоху в создании вычислительных устройств и человеко-машинных интерфейсов, направленных на автоматический анализ пяти чувств человека: зрения, слуха, запаха, вкуса, осязания («The IBM 5 in 5»).

Учитывая установленный факт многомодальности традиционной межличностной коммуникации и существующий интерес к многомодальным интерфейсам, следует ожидать, что абоненты инфокоммуникационных систем захотят использовать полимодальный диалог в процессе коммуникативного взаимодействия (рис. 1.8).

Переход от многомодальных систем к полимодальным связан со сложным характером взаимодействия отдельных модальностей (табл. 1.1). Так при разработке многомодальных интерфейсов уже решены задачи синхронизации, совместной обработки и интерпретации входных модальностей. В полимодальных системах дополнительно возникают проблемы, касающиеся кодирования входных модальностей, их приема и представления выходными модальностями.

Здесь и далее под **полимодальными** ИКС (ПИКС) следует понимать интегрированные системы обработки и хранения информации и их объединяющие телекоммуникационные сети, функционирующие под единым управлением с целью сбора, обработки, хранения, защиты, передачи и распределения, отображения и использования многомодальной информации, учитывающей смысл сообщаемых сообщений, личность абонентов (пользователей), их настроение, физиологическое и психоэмоциональное состояния [31].

² <http://www-03.ibm.com/press/us/en/pressrelease/39685.wss>

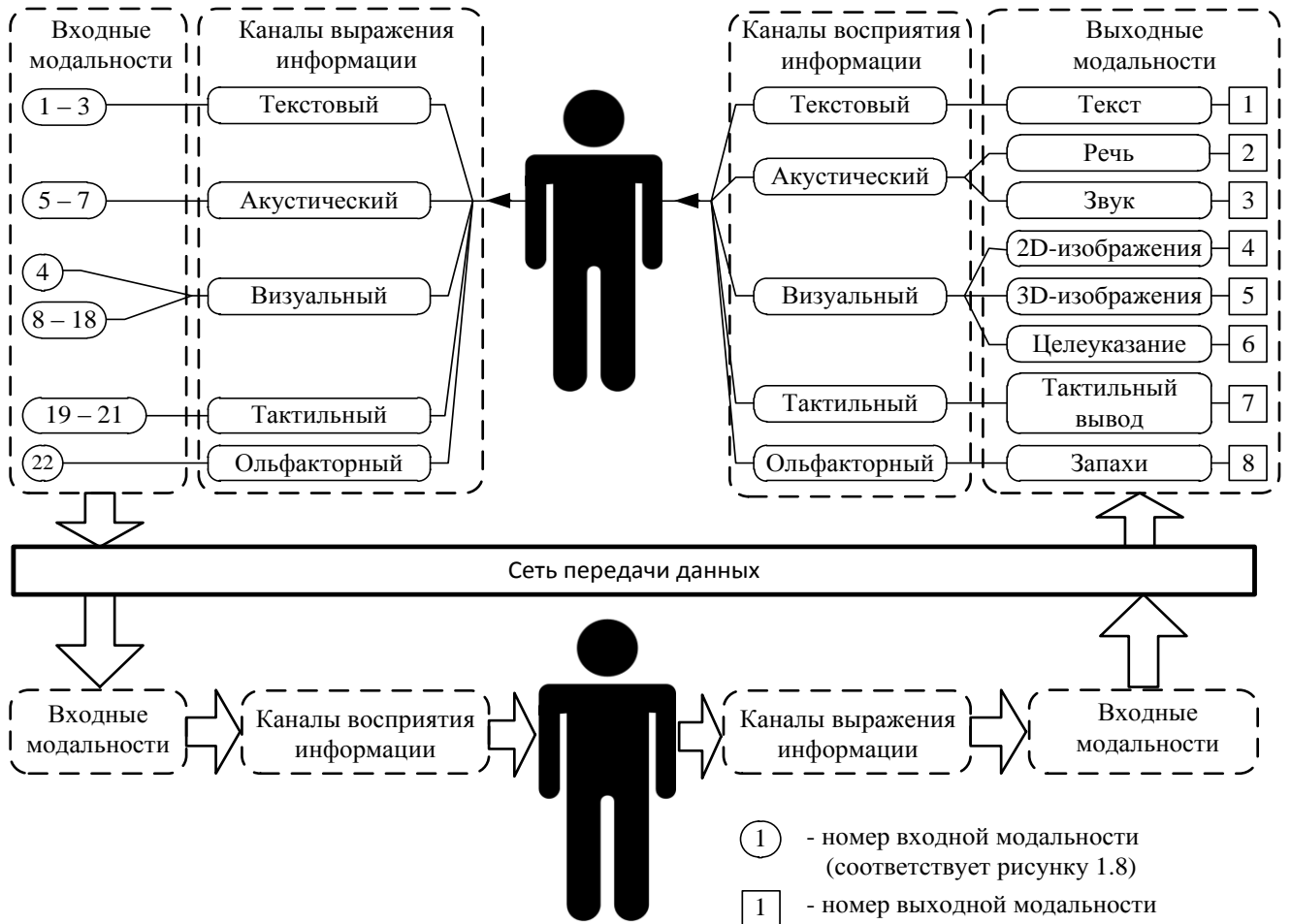


Рисунок 1.8 – Коммуникативное взаимодействие в полимодальных инфокоммуникационных системах

Сигналы входных модальностей (задачи группы I табл. 1.1) анализируются и кодируются в соответствии с обозначенными в п .1.1 каналами коммуникации, тем самым реализуя коммуникативную и отчасти интерактивную стороны общения подобно традиционным инфокоммуникационным системам [38]. Однако сопоставление данных технологий обработки с задачами, связанными с распознаванием информации, передаваемой по текстовому (задача II.1), акустическому (задача II.2) и визуальному (задачи III.3) каналам, указывает на их полное соответствие (по одноименным коммуникативным каналам). Так, сигналы текстового канала (модальности 1, 2 табл. 1.1) используются и при кодировании (задача I.1), и при распознавании (задача II.1) [253, 262].

Таблица 1.1 – Технологии обработки отдельных модальностей в рамках полимодальных инфокоммуникационных систем

Задачи		Входные модальности*	Технологии обработки сигналов	Выходные модальности**
I	I.1	1–3	Кодирование сообщений	1
	I.2	5–7	Кодирование речи	2, 5
	I.3	4, 8–18	Кодирование изображений	4, 5
	I.4	19–21	Кодирование тактильных сигналов	7
	I.5	22	Химический анализ и синтез	8
II	II.1	1–3	Определение семантики сообщений	1
	II.2	5–7	Распознавание речи	1, 4, 5
	II.3	4	Чтение по губам	1, 5
		4, 8–12, 16	Распознавание лиц	1, 2, 4, 5
		6, 8, 11	Распознавание мимики	
		15–18	Определение направления взгляда	4–6
		14–16	Определение положения тела	2, 4, 5, 6
	13–16	Распознавание жестов	1, 2, 5, 6	
II.4	22	Распознавание запахов	1,8	

Примечание: * – введены на рисунке 1.8;

** – введены на рисунке 1.9

В существующих методах и алгоритмах кодирования (задача I.2 табл. 1.1) [210] и распознавания (задача II.2) [107, 270] речи в качестве входных данных выступают речевые (модальность 5) и неречевые (модальность 7) сигналы и паузы (модальность 5). Артикуляция губ (модальность 4) выступает объектом анализа в задачах чтения по губам (задача II.3), с другой стороны, результаты исследований [242, 262] указывают на целесообразность ее объединения на уровне параметрического представления с дублирующейся информацией, получаемой по речевому каналу коммуникации. Аналогичный вывод справедлив и для методов распознавания речи, т. е. совместная обработка многомодальной информации (модальности 4–7) позволяет повысить их эффективность [279]. Другие визуальные модальности (8–20) отдельно исследуются в задачах распознавания лиц, мимики, жестов и определения положения тела человека и его взгляда (задачи II.3). Их решения находят широкое применение в системах компьютерного зрения и распознавании жестовых языков, навигации и картографии, медицине [115, 217, 251, 261, 265, 285].

В то же время информация, получаемая по визуальному каналу коммуникации, подлежит кодированию и передаче посредством инфокоммуникаций (задача I.3 табл. 1.1). При этом в традиционных инфокоммуникационных системах она передается в виде подвижных низкоуровневых (как элемента некоторого математического пространства, например, в виде массива яркостей) изображений [269], тогда как анализ отдельных визуальных модальностей (4, 8–20) в полимодальных системах позволяет применять структурные методы представления визуальной информации на основе контурных или аналогичных им описаний [274].

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». Данный подход является новым в предметной области, что потребовало проведения целого ряда исследований для разработки принципиально новых элементов теории полимодальной передачи информации.

1.2.2. Номенклатура полимодальных инфокоммуникационных услуг

Исследования показали, что в предметной области уже имеются объективные предпосылки для реализации ПИКС с возможностью предоставления пользователям полимодальных услуг: стенографирование передаваемых текстовых и речевых сообщений в режиме реального времени, информационный поиск по передаваемым сообщениям, идентификацию абонентов, в том числе в условиях отклонения их психофизиологического состояния от нормального; мониторинга активности абонента и управления внешними объектами. Кроме того, в процессе коммуникативного взаимодействия у пользователей может возникнуть необходимость в определении степени алкогольной интоксикации собеседника, его ольфакторного состояния, а также в оценке истинности сообщаемой информации. Эти и ряд других услуг предоставляются ПИКС в дополнение к основной телекоммуникационной услуге (задачи группы I табл. 1.1).

Стенографирование передаваемых текстовых и речевых сообщений нашло свое применение в достаточно большом количестве сфер, таких как документирование (протоколирование) устных выступлений, заседаний и пр. Кроме того, оно зачастую необходимо при подготовке сводок, протоколов совещаний (переговоров) в безбумажном делопроизводстве. В существующих системах стенографирования имеется один существенный недостаток – наличие одного или нескольких операторов для подготовки стенограммы и формирования итогового документа. Для автоматизации процесса формирования стенограммы предлагается реализовать процесс многомодальной обработки и распознавания речи с последующим транскрибированием в реальном времени.

Информационный поиск по передаваемым сообщениям – полимодальная услуга, предоставляющая возможность пользователю получать ссылки на текстовую, графическую, аудио или видеоинформацию, наиболее близкую по семантике передаваемым речевым (текстовым) сообщениям. Предлагается в основу таких услуг положить технологии распознавания и синтеза речи. При этом появится возможность с помощью голосовых команд осуществлять навигацию по указанным ресурсам, не отвлекаясь на просмотр информации и набор текстовых поисковых запросов, а также реализации основной услуги.

Идентификация призвана каждому абоненту (группе абонентов) сопоставить соответствующую ему разграничительную политику доступа. Предлагается доверить ПИКС проверку, относится ли регистрирующийся абонент к легитимным абонентам не только в момент входа в систему, но и по мере дальнейшего взаимодействия с ней. Наиболее эффективно идентифицировать человека возможно по признакам отдельных модальностей, которые для него являются персонализированными: геометрическое строение руки, почерк, отпечатки пальцев, особенности рисунка сетчатки глаза, радужная оболочка глаза, тепловой портрет, характеристики и особенности речи, клавиатурный почерк и др.

Управление объектами (навигация) – полимодальная услуга, предлагаемая абоненту ПИКС, позволяет управлять виртуальными объектами, перемещая их по изображенному на мониторе многомодального абонентского терминала реально-

му объекту или местности, либо оказывать содействие в управлении реальным объектом при его движении по местности. Это может быть использовано при разработке различных решений для так называемых «виртуальных примерочных» [27], позволяющих абоненту увидеть, как будет выглядеть некоторый объект в данной среде.

Мониторинг активности пользователей – полимодальная услуга, позволяющая администратору осуществлять контроль присутствия персонала на служебном месте, определять состояние контролируемого персонала в заданной зоне: активен или пассивен, а также осуществлять централизованный сбор информации о работе подчиненных. Многомодальные абонентские терминалы ПИКС позволят на основе анализа речевой и двигательной активности производить анализ данных без прямого участия человека. Важной особенностью в данном случае является возможность длительного слежения за малоподвижными людьми без срыва сопровождения. При реализации услуги может производиться поочередный опрос всех терминалов либо выборочный контроль конкретного абонента. По результатам мониторинга осуществляется автоматическая обработка активности пользователя с формированием итогового отчета (в электронном виде или печатной форме).

Определение степени алкогольной интоксикации – полимодальная услуга, предоставляющая возможность руководителю на основе методов компьютерного зрения и автоматического распознавания речи подчиненного в процессе коммуникативного общения определить вероятность алкогольной интоксикации собеседника. Предлагается бесконтактно определять степень алкогольной интоксикации человека по параметрам его визуальных и акустических модальностей в процессе коммуникативного акта [37].

Определение ольфакторного состояния – полимодальная услуга, предлагаемая пользователю ПИКС по его требованию, позволит достраивать образ собеседника по запаху на основе выявления пространства символики, семантики запаха и представления их в терминах личностных черт. Особую значимость ольфакторная информация проявляет в определенных специфических ситуациях и в кон-

тексте определенных типов взаимодействия, например, при ведении дипломатических переговоров, заключении коммерческих сделок, в ситуации врач-больной и др. Исходя из того, что восприятие личностных качеств собеседника происходит в контексте социального взаимодействия, при реализации услуги больший интерес представляют не мотивационные, а характерологические личностные черты (черта как выбор определенных способов поведения в определенных ситуациях). Уже установлено, что каждому запаху может быть поставлен в соответствие тот или иной фактор личностного поведения собеседника: креативность, активность, самоконтроль, коммуникативная компетентность, независимость и др. [92].

Определение эмоционального состояния – полимодальная услуга, предлагаемая пользователю ПИКС по его требованию, способствующая выявлению отклонений в эмоциональном состоянии собеседника в процессе коммуникативного общения. Наибольший интерес для субъектов ИнфП может представлять реализация услуги определения эмоционального состояния человека в процессе общения посредством анализа модальностей визуального и акустического каналов.

Определение психофизиологического состояния – полимодальная услуга, предлагающая администратору во время коммуникативного акта определять факты нервно-эмоционального напряжения, утомления, заболевания и других отклонений психофизиологического состояния абонентов. Результаты могут быть использованы для реализации перцептивной стороны общения при диалоге и полилоге субъектов ИнфП посредством инфокоммуникаций, а также для распределения заявок на установление соединения.

Оценка истинности передаваемой информации – полимодальная услуга, предлагаемая пользователю ПИКС по его требованию, чтобы во время коммуникативного акта дополнительно получать сведения о вероятности передачи корреспондентом ложной информации, используя динамику параметров его невербального поведения. Это направление данных исследований тесно коррелирует с одним из самых перспективных направлений в области теоретической и прикладной психологии [36, 40, 231].

Представленный выше перечень полимодальная услуг, реализуемых ПИКС, не является исчерпывающим. Однако, очевидно, что их реализация в интересах субъектов ИнфП позволит обеспечить перцептивную сторону общения, а их дальнейшая интеллектуализация – приблизить инфокоммуникационное взаимодействие абонентов к традиционному межличностному общению (рис. 1.9).



Рисунок 1.9 – Повышение эффективности общения абонентов

Таким образом, имеются объективные предпосылки для отказа от принципов разделения передаваемой информации на услуги связи и реализации ИКС на основе многомодальных интерфейсов. Однако кроме АТ в состав ПИКС входят аппаратно-программные средства связи (АПСС) и сетевые каналы и тракты (рис. 1.3). Это обуславливает необходимость анализа современных и перспективных сетевых технологий на возможность использования в ПИКС.

1.2.3. Анализ системных свойств современных и перспективных транспортных сетевых технологий

В общем случае ПИКС предоставляет каждой обслуживаемой паре абонентов либо фиксированный, либо постоянный виртуальный канал связи. Основная

задача канала связи – доставлять информацию в виде потока блоков данных (БД) от абонентского терминала-источника к терминалу-адресату. В СД и транспортной сети формирование обоих типов каналов связи осуществляется путем последовательного установления физического или логического соединения ресурсов технически сопряженных элементов направляющих систем телекоммуникаций (НСТ) и узлов коммутации. В дальнейшем для составных физических или логических каналов связи и формирующих их узлов коммутации транспортной сети и СД будет использоваться общее модельное понятие «сети передачи данных» (СПД). Таким образом, СПД – комплекс АПСС, обеспечивающий взаимодействие удаленных многомодальных АТ пользователей, находящихся в процессе межличностной коммуникации.

Методы передачи БД в СПД реализуются в виде *технологий передачи*. Современные СПД могут строиться на основе разнообразных технологий передачи, причем транспортные сегменты таких сетей используют высокопроизводительные волоконно-оптические линии связи [4, 7, 31, 77, 87, 116, 121, 179, 181, 222, 226, 244, 248, 271, 284, 292] (рис. 1.10).

Оптические транспортные сети (ОТС) федеральных операторов связи Российской Федерации применяют в качестве базовых технологий синхронную цифровую иерархию, оборудование которой реализует синхронное статическое (поканальное) временное мультиплексирование (*SyTDM*), и технологию *Ethernet*, обеспечивающую статическое временное мультиплексирование (*StTDM*).

Разработанные к настоящему времени способы коммутации и схемы мультиплексирования (рис. 1.11), ориентировались ранее на приложения СД. В настоящее время и в ОТС стали применяться средства быстрой коммутации каналов, коммутации пакетов, коммутации по временным меткам.

Форумом *ATM* предложен целый ряд методов передачи, основанных на коммутации ячеек постоянной длины в рамках архитектурной модели *ATM* [117]. Эти технологии предполагают адаптацию нагрузки под формат канального уровня. Коммутация пакетов переменной длины традиционно применяется в СПД для повышения эффективности использования ресурсов пропускной способности

[188]. Однако, как показывают исследования [7, 8, 179], переход к технологиям с *StTDM* приводит к сложности обеспечения гарантированной своевременности передачи БД. Для передачи блоков данных ПИКС, критичных к задержке, в таких системах должны быть предусмотрены специальные методы и средства управления трафика, существенно повышающие общую стоимость СПД.

Сеть <i>SDH</i> G.803			Сеть <i>ATM</i> I.326		Сеть <i>Ethernet</i> G.8010		
Уровень каналов	Каналы <i>E1, E3, E4, Ethernet</i> (10 М, 100 М, 1000 М)		Уровень адаптации <i>ATM</i>	<i>AAL-1, AAL-2, AAL-3/4, AAL-5</i>		Уровень приложений	
Уровень трактов	Нижний порядок <i>VC-12 (LOV C)</i>		Уровень <i>ATM</i>	Виртуальный канал (<i>VCI</i>)		Уровень формирования <i>Ethernet</i>	Управление логическим каналом (<i>LLC</i>)
	Верхний порядок <i>VC-3, VC-4, (HOV C)</i>			Виртуальный путь (<i>VPI</i>)			Управление доступом к среде передачи (<i>MAC</i>)
Уровень среды передачи	Секции	Мультиплексные	Уровень среды передачи	Совмещение с оборудованием передачи		Уровень среды передачи	Среда передачи кадров <i>Ethernet</i> (<i>PDH, SDH, ATM, OTN,...</i>)
		Регенерационные		Оборудование передачи			
				Среда передачи			
Среда передачи (ВОЛТ)			Среда передачи (ВОЛТ, медные провода, радиоканалы)		Среда передачи (ВОЛТ, медные провода, радиоканалы)		

Рисунок 1.10 – Стандартизованные архитектуры транспортных сетей связи

Устранению некоторых недостатков систем с коммутацией пакетов (высокой сложности протоколов обработки пакетов, влияния случайных задержек на качество передачи блоков данных) способствовала разработка мультипротокольной коммутации по временным меткам (*MPLS*) [246, 278].

В качестве облика перспективных СПД целой группой известных специалистов объявлены сети связи следующего поколения (*Next Generation Network, NGN*) [7, 116, 121, 188, 225, 292] и программно-конфигурируемые сети (*Software Defined*

Networks, SDN). Эти сети в идеале должны иметь транспортную подсистему, инвариантную к типу транспортируемой нагрузки. В современных телекоммуникациях эта инвариантность подразумевает инкапсуляцию кадров различных форматов, поступающих от терминалов, электрическими средствами мультиплексирования. Это обуславливает необходимость использования сложных технологических цепочек доступа к ресурсу СПД. Видно, что такой подход наряду с усложнением и удорожанием АПСС из-за высокой интегративности приводит к снижению технической надежности СПД [11, 120, 126].

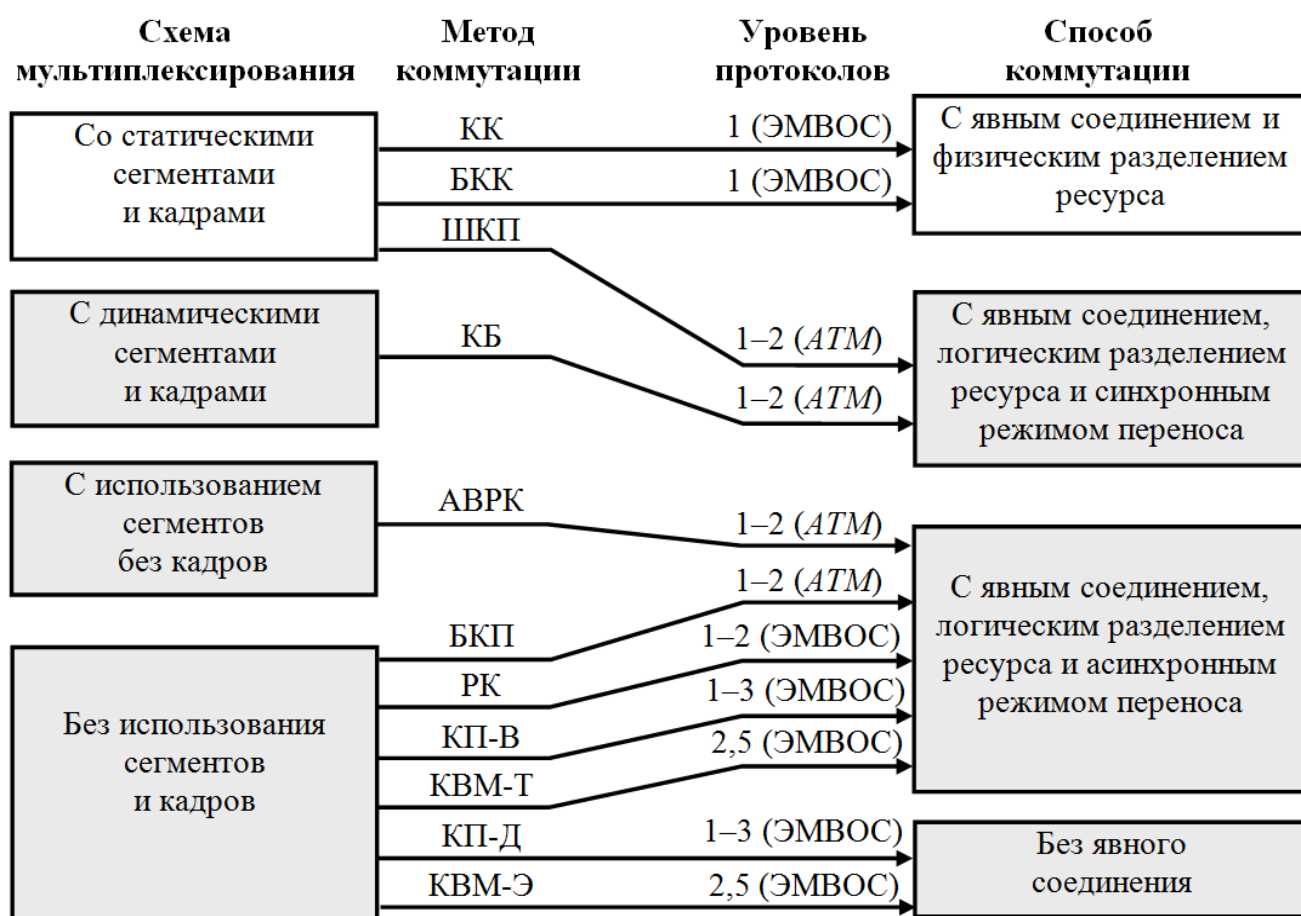


Рисунок 1.11 – Классификация способов коммутации и схем

мультиплексирования в современных сетях передачи данных:

- КК – коммутация каналов; БКК – быстрая коммутация каналов;
- ШКП – широкополосная коммутация пакетов; КБ – коммутация блоков;
- АВРК – асинхронное временное разделение каналов; БКП – быстрая коммутация пакетов;
- РК – ретрансляция кадров; КП-В – коммутация пакетов по виртуальным каналам;
- КВМ-Т – транзитный метод мультипротокольной коммутации по временным меткам; КП-Д – датаграммный режим коммутации пакетов;
- КВМ-Э – эстафетный метод мультипротокольной коммутации по временным меткам

Моделирование методов передачи блоков данных в традиционных научных школах часто осуществляется по функциональным признакам послойно. Вариант такого представления традиционной телекоммуникационной системы, в транспортной сети которой в качестве направляющей среды используется оптическое волокно (ОВ), показан на рисунке 1.12.

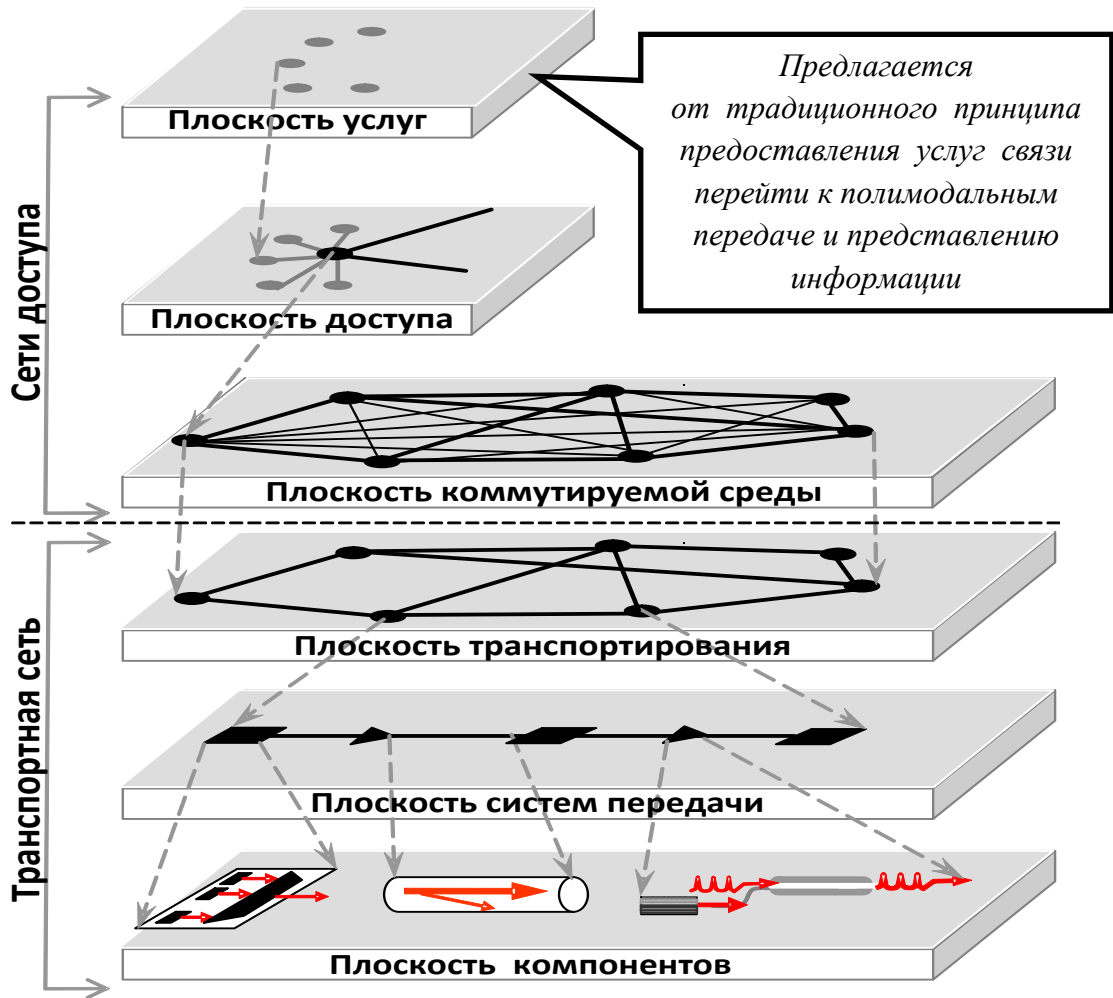


Рисунок 1.12 – Послойное представление телекоммуникационной системы

При переходе к полимодальному представлению информации специфические требования могут и должны предъявляться к транспортной инфраструктуре сети. Так, например, гомогенная сеть синхронной цифровой иерархии (СЦИ), имеющая линии передачи *SyTDM* с ограниченным числом градаций скоростей передачи: 0,155; 0,622; 2,5; 10 и 40 Гбит/с, не способствует адаптации СПД под изменение скорости выдачи полимодальной информации.

Электрически инвариантная транспортная сеть на основе *Ethernet* подразумевает инкапсуляцию БД в формат кадра канального уровня. Она имеет эффективность использования пропускной способности, определяемую вариантом инкапсуляции пакетов в кадр, случайную величину сетевой задержки на всем пути доставки и требует мер по ограничению максимальной входящей нагрузки от многомодальных абонентских терминалов [117, 126]. Задача синтеза полимодальной системы на основе такой такого «транспорта» состоит в наборе такого ресурса, который бы обеспечил передачу каждого типа (терпимых и критичных к задержкам БД) трафика с учетом увеличения его объема в ходе инкапсуляции.

Видно, что в традиционных транспортных сетях с «электрическим» мультиплексированием (рис. 1.11), рассмотренных выше, организуется максимальное число каналов равного качества, а для каждого режима переноса разработаны и реализуются соответствующие методы передачи сигналов [4, 87]. Очевидно, что при изменении состава модальностей в ПИКС согласованно с ним должна изменяться производительность соответствующего тракта СПД. Так, например, в сети СЦИ для этого слишком велик «шаг квантования» пропускной способности.

Объективными предпосылками для разработки и практической реализации ПИКС стала возможность обеспечения инвариантности каналов и трактов транспортной сети к используемой технологии передачи «на оптическом уровне» вне традиционных принципов деления пропускной способности линий СПД на равные доли (энергии сигналов на равные порции). Такой подход, наряду с минимизацией «шага квантования» пропускной способности трактов, позволит расширить возможности использования существующих АПСС, обслуживающих активные модальности пользователей. Теоретические основы и принципы построения ОТС связи, инвариантных к технологии передачи, представлены в [179].

Анализ методов передачи, использование которых возможно и целесообразно в СПД ПИКС, позволило сделать целый ряд выводов, существенных с точки зрения настоящего исследования.

1. Самой доступной сегодня для создания транспортной основы ПИКС является электрически инвариантная СПД с коммутацией пакетов. В таких системах

«шаг квантования» составит значение порядка 64 кбит/с, что обеспечит достаточную чувствительность всей системы к изменению числа активных модальностей. Для моделирования таких СПД можно использовать существующий инструментальный анализ современных телекоммуникаций, но в качестве источников нагрузки которых будут выступать многомодальные АТ (рис. 1.13).

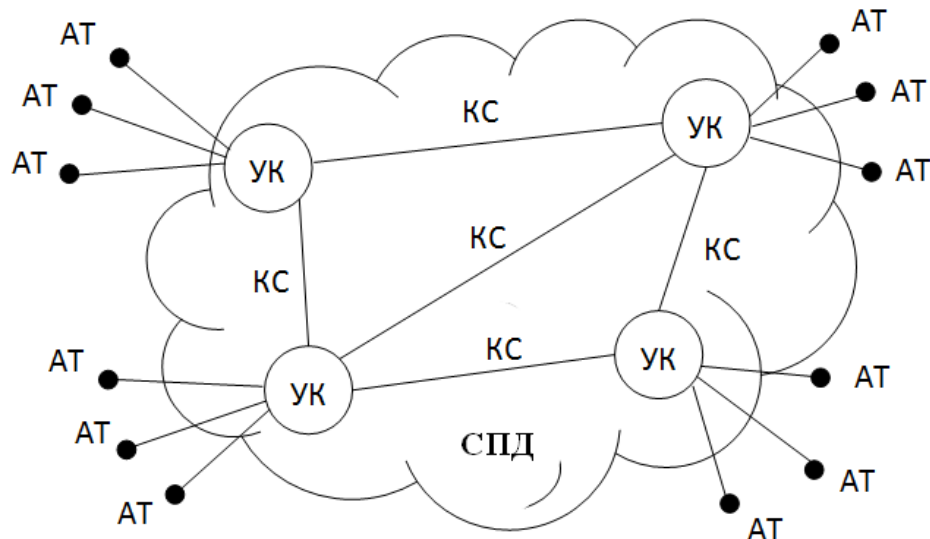


Рисунок 1.13 – Модельное представление СПД с коммутацией пакетов

Основными элементами СПД такого типа являются АТ, узлы коммутации (УК) и каналы связи (КС). Существенное влияние на качество синхронизации модальностей при их автономной обработке и передаче через СПД с коммутацией пакетов будет оказывать сетевая задержка. Под *сетевой задержкой* понимается интервал времени между моментом, когда первый бит БД поступает в сеть с коммутацией пакетов, и моментом, когда последний бит этого блока покидает сеть. Наличие сетевой задержки и ее случайный характер свидетельствуют о том, что в СПД с коммутацией пакетов целесообразно реализовать совместную обработку модальностей в АТ, а соответствующие БД передавать с использованием механизмов обеспечения гарантированного качества обслуживания в СПД.

2. Перспективным для ПИКС является реализация в СПД принципов построения ОТС, инвариантных к технологии передачи (рис. 1.14). Метод передачи

в таких СПД будет определяться текущим множеством активных пользователей и составом используемых модальностей в их АТ.

В настоящее время вместо традиционных *гомогенных* волоконно-оптических линий связи (рис. 1.14, а) на практике все чаще реализуются *гетерогенные* ВОЛС, использующие в различных спектральных каналах ОВ разные сетевые технологии (рис. 1.14, б). При наличии средств согласования режимов функционирования многомодальных АТ и СПД появляется возможность организации в последних каналов и трактов, адаптивно «подбирающих» наиболее эффективную сетевую технологию (*SyTDM* или *StTDM*) под текущее распределение объемов и типов модальностей в сообщениях (рис. 1.14, в).

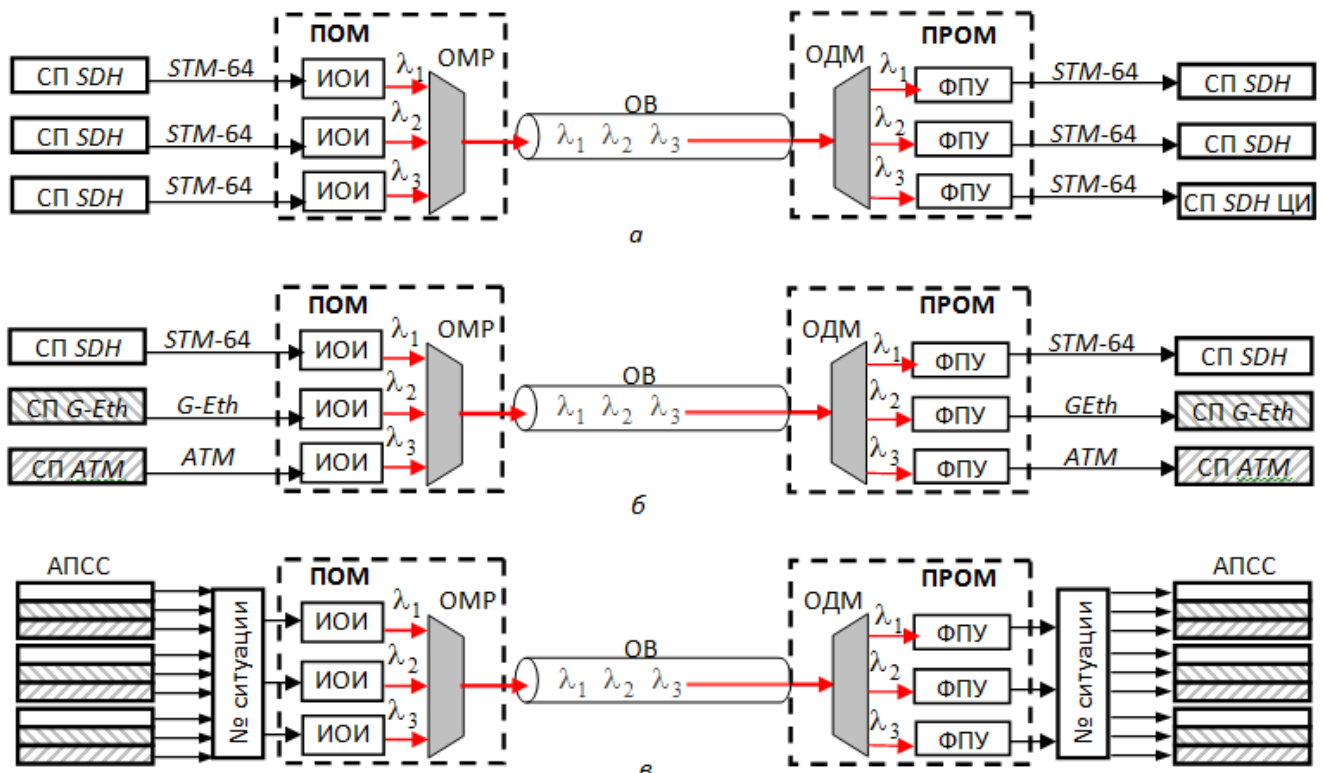


Рисунок 1.14 – Гомогенный (а), гетерогенный (б) и инвариантный к технологии передачи (в) ВОЛТ:

ПОМ – передающий оптический модуль; ПРОМ – приемный оптический модуль;
 ИОИ – источник оптического излучения; ОМР – оптический мультиплексор;
 ОДМ – оптический демультиплексор; ФПУ – фотоприемное устройство

Изложенное выше указывает на необходимость редукции объекта исследования (ПИКС) на две условно-автономных подсистемы: множества многомодальных АТ и транспортной инфраструктуры – СПД, способной с заданным качеством обеспечить обслуживание поступающей нагрузки. Естественно, такой подход обуславливает необходимость оптимизации в дальнейшем целого ряда функциональных характеристик элементов СПД для обслуживания многомодальных сообщений от АТ, что потребует новых теоретических исследований в предметной области.

1.3. Проблемы комплексного моделирования и решения задач анализа, синтеза и оптимизации инфокоммуникационных систем

Проведенный в пп. 1.1, 1.2 анализ позволил выделить проблемы практики, препятствующие развитию инфокоммуникационного обеспечения органов государственной власти, предположить возможность их разрешения посредством построения ПИКС на основе многомодальных архитектур их АТ. Ниже исследуется исходный теоретический базис предметной области и его возможности по формальному описанию новых фактов и явлений в объекте исследования.

1.3.1. Анализ существующих подходов к комплексному моделированию и оцениванию качества инфокоммуникационных систем

В теориях предметной области [4, 7, 67, 78, 87, 116, 117, 126, 136, 179, 188, 205] общепризнанным является подход к ИКС и их элементам, как к сложным многоуровневым системам. Для количественного обоснования свойств объекта исследования необходимо определиться с их качественным составом. С одной стороны, номенклатура ФХ является носителем свойств моделируемой системы. С другой стороны, этот состав отражает понятийный аппарат и структурные признаки используемых моделей. При этом качественные отличия сторон объекта исследования могут "кодироваться" при помощи количественных различий их ФХ.

Такая взаимосвязь качества и количества позволяет выстраивать эмергентные модели (системы моделей), разносторонне отражающие процессы, происходящие внутри объекта исследования.

Концепцией управления качеством связи в Российской Федерации [112] в соответствии с моделью, предложенной в Рекомендациях МСЭ-Т E.800 [167] и E.804 [169], определены следующие составные части понятия «качество связи»:

- качество услуг связи *QoS* (*Quality of Service*);
- качество сети связи (*NP – Network Performance, сетевые характеристики*);
- клиентское восприятие качества услуги (клиентский опыт).

В этой связи анализ подходов к моделированию ИКС логично начать с формализмов высшего уровня иерархии – уровня метасистемы [80, 177].

Качество услуги связи *QoS* отражает результат взаимодействия используемого абонентом (пользователем) пользовательского (оконечного) оборудования с сетью связи в процессе оказания услуги связи и рассматривается как совокупность свойств (рис. 1.15): обеспеченность обслуживанием, удобство пользования, безопасность обслуживания, доступность, бесперебойность (непрерывность), целостность обслуживания.

Требования к *QoS* часто формализуются на основе вектора параметров:

$$T_{\text{ИКС}} = \{T_o, T_y, T_b, T_d\} = \{T_o, T_b, T_y, (T_{\text{дос}}, T_{\text{неп}}, T_{\text{цел}})\}, \quad (1.1)$$

где T_o – параметры обеспеченности; T_y – параметры удобства пользования; T_b – параметры безопасности; T_d – параметры действенности; $T_{\text{дос}}$ – параметры доступности; $T_{\text{неп}}$ – параметры непрерывности (бесперебойности); $T_{\text{цел}}$ – параметры целостности обслуживания абонентов.

Для формального описания характера распределения требований к ИКС между ее взаимодействующими элементами часто используется теория и методология исследования сложных иерархических систем. В ее рамках свойства ИКС и ее подсистем представляются в виде комплекса функциональных характеристик. Внешние ФХ $\{Q\}$ любой ИКС, отражая параметры выполняемых функций, соответствуют результату (реальному или ожидаемому) функционирования ИКС (подсистемы,

устройства) в определенных условиях. Внутренние ФХ $\{X\}$ ИКС (подсистем, компонентов) отражают свойства средств достижения этого результата [136]. Внутренние и внешние ФХ системы и ее компонентов определяются наличием соответствующих ресурсов $\{R\}$ и условиями среды функционирования $\{U\}$ (рис. 1.16).

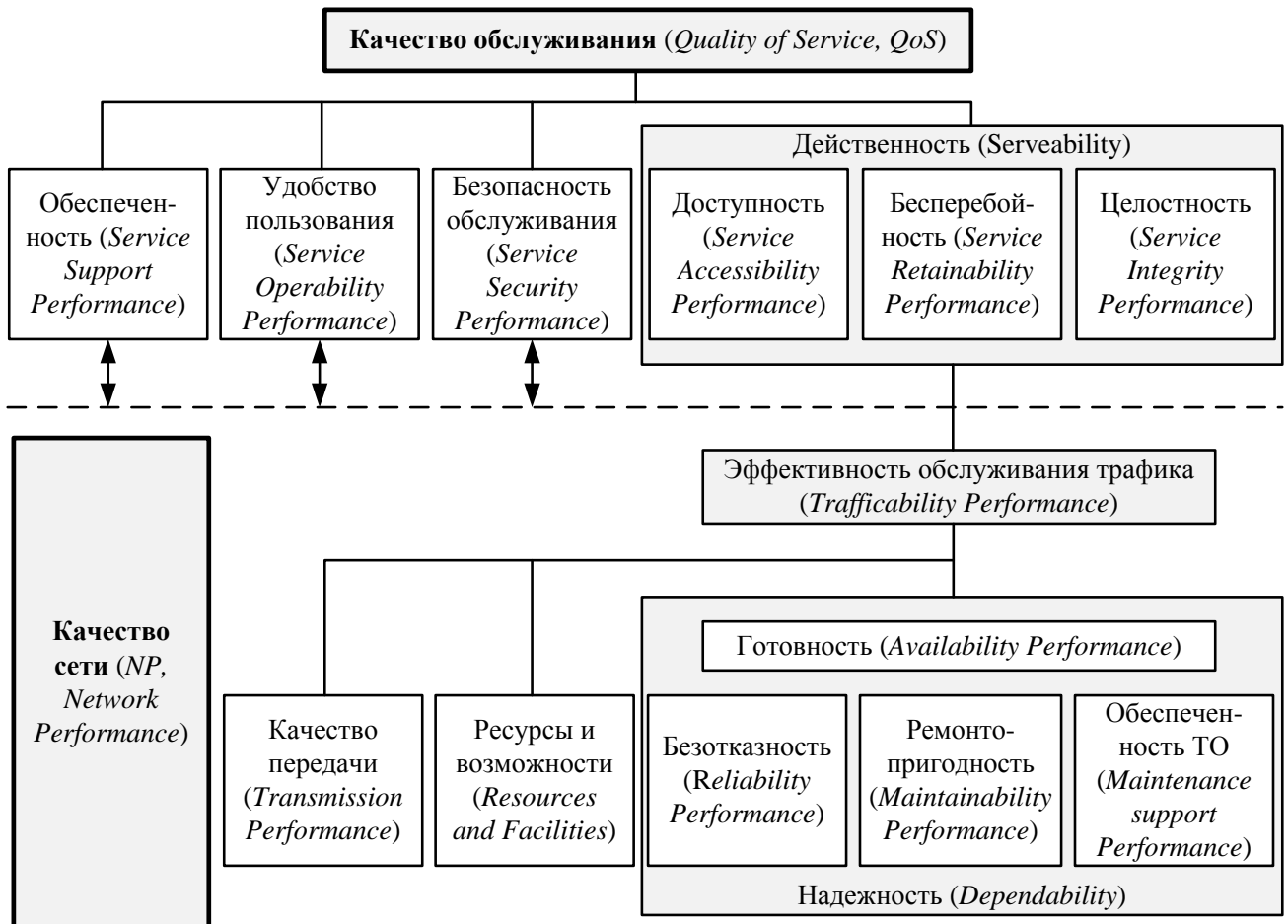


Рисунок 1.15 – Основные составляющие качества услуг в сети связи

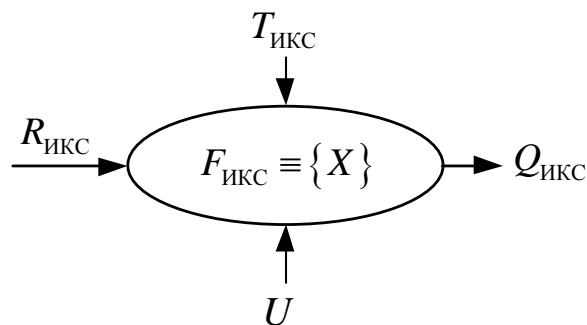


Рисунок 1.16 – Обобщенная модель метауровня исследований зависимости внешних ФХ ИКС от наличия ресурсов и условий функционирования

Тогда иерархии объектов ИКС можно поставить в соответствие иерархию их внешних и внутренних ФХ. Как правило, внешние ФХ выступают в роли показателей качества (эффективности), а внутренними ФХ являются правила выполнения заданных функций. Исходя из параметров (1.1), внешние ФХ ИКС в целом можно представить в виде

$$Q_{\text{ИКС}} = \{Q_{\text{п}}, Q_{\text{б}}, Q_{\text{д}}, Q_{\text{у}}\} = \{Q_{\text{п}}, Q_{\text{б}}, \{Q_{\text{дос}}, Q_{\text{неп}}, Q_{\text{цел}}\}, Q_{\text{у}}\}. \quad (1.2)$$

Качество сети связи (рис. 1.14) является необходимой основой для обеспечения качества услуг связи и определяется в рекомендациях МСЭ-Т как способность обеспечения передачи информации между пользователями. Взаимосвязь между параметрами *QoS* и *NP* очевидна. Для эффективного обслуживания пользователей сетью важно установить количественные соотношения между их значениями, если между ними отсутствует однозначное соответствие. Различия в подходах к оценке качества услуг связи и качества сети связи обобщены в таблице 1.2 [88].

Таблица 1.2 – Различие подходов к оценке качества обслуживания пользователей и качества функционирования сети

Качество услуг связи (<i>QoS</i>)	Качество функционирования сети (<i>NP</i>)
Ориентировано на пользователя	Ориентировано на оператора и персонал
Описывается атрибутами услуги	Описывается атрибутами средств связи
Ориентировано на эффект, воспринимаемый пользователем	Ориентировано на разработку, проектирование, эксплуатацию, техническое обслуживание, ремонт и развитие средств комплексов связи, сетей
Измеряется (оценивается) в точке доступа к услуге	Измеряется (оценивается) в элементах, группах элементов, в сети между оконечными точками

Клиентское восприятие качества услуги связи (*QoE, Quality of Experience*) формируется на основе сравнения качества фактически оказываемых услуг связи с заявленным оператором связи уровнем качества или с ожиданиями пользователей.

В настоящее время основным методом оценки восприятия качества услуги связи является опрос, при котором абоненты (пользователи) дают совокупную оценку качества услуг связи, полученных ими в течение некоторого времени на

определенной территории обслуживания сети связи. Объективная составляющая клиентского опыта, связанная с качеством работы используемого абонентами пользовательского оборудования (АТ) и корректностью его настроек, может быть оценена с использованием специальных приложений, устанавливаемых на АТ, на основе показателей, идентичных показателям качества услуг связи [112].

Таким образом, для каждой конкретной услуги должны рассматриваться критерии и параметры QoS , конечными точками которой являются места подключения АТ субъектов (абонентов) ИнфП (рис. 1.17) [168].



Рисунок 1.17 – Схематическое представление вкладов элементов ИКС в сквозное («из конца в конец») QoS

Независимо от вида услуги связи (в том числе и для «соединения с сетью»), для абонента существенными свойствами качества связи будут являться доступность СПД, доступность и целостность услуги [112].

Концентрируясь на требованиях к качеству услуги «соединения с сетью», логичным будет декларировать, что для их обеспечения на уровне ИКС основными требованиями к внешним ФХ сети доступа и транспортной сети (рис. 1.18) являются заданные объемы и качество организуемых каналов (линий) связи ($T_{СД}$, $T_{ТС}$). Следовательно, внутренние ФХ СД – $F_{СД} \equiv (X_{СД})$ (пропускная способность, устойчивость и достоверность передачи) должны соответствовать этим требованиям, т. е. $Q_{СД} \geq T_{СД}$. Аналогично можно формализовать внешние и внутренние характеристики транспортной сети, $Q_{ТС} \geq T_{ТС}$. Терминалы традиционной ИКС имеют внутренние ФХ, обеспечивая качество конкретной услуги, $Q_{АТ} \geq T_{АТ}$. Следуя этой логике, внутренними ФХ АТ в полимодальных ИКС должны стать параметры и показатели качества обработки модальностей $Q_{АТ}$.

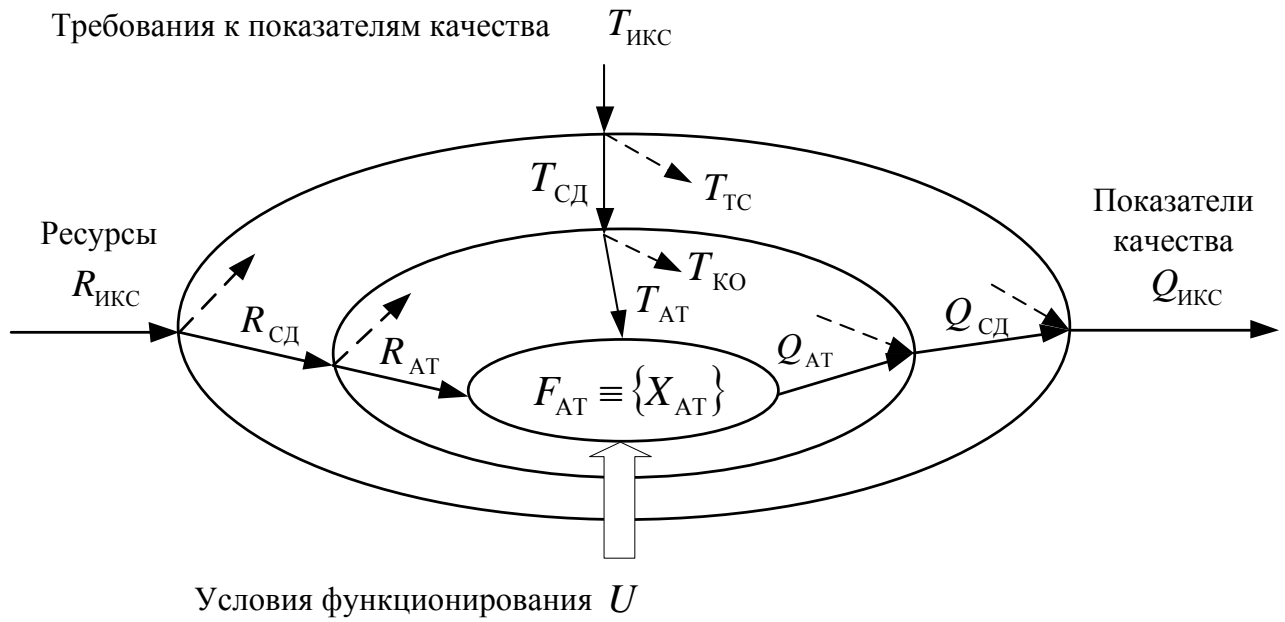


Рисунок 1.18 – Обобщенная модель иерархии ФХ ИКС:

СД – сеть доступа; ТС – транспортная сеть;
КО – коммутационное оборудование; АТ – абонентский терминал

Иерархию ФХ ПИКС можно записать следующим образом:

$$Q_{\text{СД}} = F_{\text{СД}}(T_{\text{СД}}, R_{\text{СД}}, U_{\text{СД}}), F_{\text{СД}} \equiv (X_{\text{СД}}), \quad (1.3)$$

$$Q_{\text{АТ}} = F_{\text{АТ}}(T_{\text{АТ}}, R_{\text{АТ}}, U_{\text{АТ}}), F_{\text{АТ}} \equiv (X_{\text{АТ}}). \quad (1.4)$$

Иерархичность и вложенность подсистем и элементов ИКС позволяют под *оптимизацией ФХ* (структуры ИКС и параметров компонентов) ИКС понимать решение оптимизационных задач с целевыми функциями в виде внешних ФХ ИКС и варьируемыми параметрами в виде внутренних ФХ ее подсистем (компонентов) с учетом доступных ресурсов и условий СФ.

Соотношение внешних ФХ АТ и внешних ФХ взаимодействующих с ней элементов ИКС, необходимое для выполнения требований вида (1.1), как правило, зависит от режима функционирования метасистемы (СГУ). Событийный характер деятельности ДЛ органов государственного управления обуславливает вариативность компонентов функционала (1.1), и, следовательно, режимов функционирования соответствующих АТ и СПД. Моделирование данных процессов осуществляется на основе различных математических теорий.

Господствующим в предметной области является программно-целевой подход (ПЦП) к формальному описанию ИКС. В рамках его структурно-функционального направления [4, 65, 67, 209] манипуляции с внешними ФХ осуществляются через параметры физической структуры системы. Аналогичные идеи заложены в моделировании на базе тензорной [66] и фрактальной [210] методологий. Другие научные школы предметной области, например, системотехнический подход [197] и эволюционный синтез систем [9, 10] больше ориентированы на физическую интеграцию в эмергентную структуру неделимых "функциональных модулей", вытекающие из постулата "доминирования функции над структурой" [2, 68, 129].

В рамках *структурно-функционального подхода* (СФП) при описании системы (сети) связи принято выделять подсистемы обработки и передачи информации (ППИ), включающую в себя аппаратно-программные средства связи (АПСС) и тракты (каналы) передачи информационных БД (цикл передачи для КК, кадр для КП, сообщение FR и пр.), и подсистемы, обеспечивающие их функционирование (ПОФ). Моделирование их физических структур может производиться как отдельно, так и совместно.

Под *физической структурой АПСС* (АТ, средства мультиплексирования, устройства коммутации, средства криптографической защиты информации) далее понимается совокупность технической, функциональной (технологической) структур и структуры программно-математического и информационного обеспечения (ПМИО) АПСС [106, 125, 129, 185, 192, 199], а под *физической структурой сети* – совокупность топологической (в абстрактном и географическом смысле), потоковой и протокольной структур сети [67, 78, 117, 136].

Для моделирования структур АПСС 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) средств связи (N_y – число узлов), множеством ребер $B = \{b_{ij}\}$, $i, j = 1, \dots, N_y$, соответствующих линиям связи, и связность I_G . На основе абстрактного графа $G(A, B, I_G)$

возможно определить ФХ, инвариантные к географии сети, типам направляющих сред, свойствам АПСС и их элементов.

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, что позволяет анализировать (рассчитывать) габаритные размеры изделия, электромагнитную совместимость и тепловые режимы его отдельных узлов и т. п.

Функциональная структура АПСС представляет собой ориентированный граф $G_{\text{ФУНКЦ}}(A, B)$, вершинами $A = \{a_i\}$, $i = 1, \dots, N_y$ которого являются наименования элементов изделия или физических операций (N_y – число элементов изделия или физических операций), а ребрами $B = \{b_{ij}\}$, $i, j = 1, \dots, N_y$ – 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 средства связи соответствуют какой-либо одной математической или логической операции. Совокупность всех звеньев, входящих в систему, составляет алгоритм функционирования АПСС.

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, что позволяет анализировать (рассчитывать) длины каналов (трактов), протяженности путей и т. п.

Граф потоковой структуры $G_{\text{ПОТОК}}(A, B, U)$ СПД отражает план распределения информации корреспондирующих пар узлов и сообщений ПОФ по элементам сети. Потоковая структура традиционных (гомогенных) СПД есть распределение пропускной способности ребер $U = \{u_{ij}\}$ на топологической структуре сети

при условии обеспечения заданных канальных потребностей для корреспондирующих пар узлов $Z = \{z_{gh}\}$ и ПОФ [9, 126, 205].

Протокольная структура СПД конкретизирует $G_{\text{прот}}(A, B, U)$ относительно реализуемых режимов переноса, видов линейного кодирования и методов повышения достоверности передачи, отдельных протокольных механизмов ПОФ и дифференцируется в зависимости от типа СД и транспортной сети, видов АПСС, способов организации ПОФ.

Физическая структура $G_{\text{ф}}(A, B, U, \Phi)$ 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 [4, 10, 65, 129].

В ПИКС абонентские терминалы являются для СПД источником и потребителем нагрузки (потоков БД). Проблема согласования режимов функционирования СПД и АТ в идеале может решиться, если под каждый БД, будет предоставляться ресурс СПД, отвечающий требованиям по своевременности (скорости) и достоверности передачи.

Для формального описания процессов передачи БД применяются как аналитические, так и имитационные модели [67, 81, 109, 117, 188]. Основное достоинство *аналитических* моделей состоит в том, что с их помощью удастся получить явные выражения для расчета параметров передачи БД, которые в последующем могут быть включены в более сложные оптимизационные модели. Основным недостатком аналитических моделей является их методическая неточность (для инженерных расчетов величина допустимой погрешности не должна превышать 20 %).

Роль *имитационного* моделирования в предметной области в последние годы все более локализуется. Его применение доказало свою целесообразность на уровне отдельных подсистем, этапов и задач, и нецелесообразность – на макроуровне, для симуляции работы всей ИКС [188, 205]. При помощи имитационных моделей в последнее время все чаще производится исследование элементов ИКС

или опытного участка ее сети при отсутствии возможности проверить их работу на основе статистических данных. Анализ показывает, что этот инструментарий принципиально не позволяет моделировать изменения параметров передачи БД в условиях вариативности режимов их переноса.

Основным недостатком традиционного подхода к моделированию является сложность графо-матричной модели физической структуры СПД, существенно зависящей от числа $N_{сэ}$ сетевых узлов. Исследования показали [67, 109, 117, 188], что на настоящий момент не удастся синтезировать модель сетевой инфраструктуры с $N_{сэ} \geq 50$, одинаково приемлемую в плане адекватности исследуемым процессам и разрешимую за удовлетворительное время на существующих вычислительных средствах. Модели малой размерности не учитывают отдельные, необходимые для принятия решений факторы, а оперируют интегральными свойствами, позволяющими получить приближенные оценки системных свойств ИКС. Модели большой размерности обладают значительной вычислительной сложностью и подвержены неизбежным ошибкам. Такие модели часто дают труднообъяснимые в терминах научной диагностики результаты, малополезные для выработки практических рекомендаций.

В данном контексте *функционально-структурный подход* (ФСП) оказывается более конструктивным. С точки зрения ИКС отдельный элемент (АПСС, ВОЛТ или узел связи) может восприниматься элементарным "кирпичиком", модулем со своими характеристиками (функциями). ФСП представляет любую сложную систему S в виде некоторой комбинации первичных элементов $\{x\}$, объединенных по композиционным законам Z_d и выделенных в соответствии с основанием A_ε из универсального множества первичных элементов X_a [3, 10, 68, 129]:

$$X = \bigcup X_h \subseteq X_a, \quad m \in [n, A_\varepsilon, Z_d],$$

где $n \in [1, N_\varepsilon]$ – номенклатура типов компонентов; $d \in [1, D_\varepsilon]$ – число вариантов их соединения в функционирующую систему; $\varepsilon \in [1, V_\varepsilon]$ – объем выполняемых при этом функций, h – номер комбинации.

В рамках ФСП системы получают индуктивно, исходя из свойств (функций) существующих, готовых технических средств (модулей). При этом сами элементы (модули) часто считаются целостными, практически неуязвимыми (что соответствует надежности большинства современных компонентов, составляющих ресурсно-функциональную базу проектирования ИКС). Агрегативность системы считается залогом ее гибкости и адаптивности (на основе помодульной замены ресурсов (средств) в процессе их модификации и эволюции системы на жизненном цикле) архитектуры ИКС.

В результате взаимодействия элементов $\{x\}$ система X получает некоторые интегральные свойства Q_p , определяющие способность системы удовлетворять набору требований T_q (достичь заданной цели). Исходя из этого, задача моделирования системы состоит в определении композиции таким образом, что в результате этого объединения появляются следующие свойства Q_p :

$$Q(\cup X_h) = Q_p \geq T_q, \quad h \in [n, A_\varepsilon, Z_d].$$

Размерность функционально-структурной модели существенно зависит от значений мощности множеств Z_d , A_ε и X_a . Композиционные законы при этом обуславливаются целями функционирования моделируемой системы и подцелями, реализуемыми функциями конкретных модулей. Следовательно, для описания элементов функционально-структурных моделей также может быть применена полученная ранее иерархия ФХ. Функция при этом соответствует внешней ФХ, а средства ее обеспечения – внутренней ФХ.

Построение модели всей ИКС в рамках ФСП предполагает использование дерева целей, позволяющего определить основную цель функционирования ИКС и ее представление в виде подцелей и сфер функционирования Sf_k , $k = \overline{1, K}$ (эффективность обслуживания БД, устойчивость, синхронизация и пр.). Эмергентность модели достигается за счет того, что результат деятельности системы определяется уровнем агрегирования параметров целей в других сферах. При этом ка-

ждающая последующая слева направо сфера Sf_k , как и ее подсферы, аргументно зависит от предыдущей сферы Sf_{k-1} , т.е.

$$Sf_k \left(Sf_{k-1} \left(\dots \left(Sf_2 \left(Sf_1 \right) \right) \right) \right).$$

Данный подход в настоящее время нашел свое применение в основном на этапе концептуального проектирования инфокоммуникационных систем и сетей. Функциональными модулями (сферами, подсферами) при этом являются элементы физической структуры, отвечающие, соответственно за эффективность обслуживания БД, устойчивость, тактовую сетевую синхронизацию и пр. Могут быть выделены и другие сферы (подсферы) функционирования [205].

Каждая сфера (подсфера) может представляться графо-матричными моделями, аналогичными тем, что использовались в СФП (графы подсистем обработки и передачи информации, распределение структурной избыточности, системы синхронизации и пр.). Графовые модели в ФСП позволяют работать отдельно на любом уровне представления с необходимой степенью детализации функций по сферам функционирования. Очевидно, что общая функционально-структурная модель ИКС будет иметь размерность, соизмеримую с размерностью структурно-функциональной модели объекта исследования.

Таким образом, ФСП на макроуровне настоящих исследований не дает ощутимого выигрыша в размерности получаемых формализмов. Кроме того, в предметной области этот подход не имеет столь разнообразной (и проверенной практикой) формально-математической базы проектирования, как СФП. Дерево целей при синтезе ИКС и ее подсистем является пока скорее удобной формой представления результата решения, но не инструментом его построения.

В последние годы при моделировании ИКС и ее подсистем (элементов) все чаще используются инновационные подходы. Это регуляризационные и тензорные методы, генетические и нейросетевые алгоритмы, средства теорий нечетких множеств и фракталов. Регуляризационные подходы позволяют формализовать элементы системы в ситуациях, когда сколь угодно малые изменения исходных (входных) данных могут привести к произвольно большим изменениям выходных

характеристик. Соответствующие методы целесообразно использовать при обработке оптических измерений (производимых, например, в системе контроля состояния ВОЛТ). Применение метрических тензоров [66] требует геометризации информационных процессов, но позволяют достаточно просто и наглядно описывать поведение БД в условиях загрузки каналов, близкой к предельной. Моделирование в рамках теории фракталов [210] подразумевает учет протяженных статистических зависимостей задержки БД от их интенсивности, но практически не использует информацию о физической структуре сети. Использование в АТ фрактальных методов сжатия речевой и видеoinформации ограничено ввиду экспоненциальной сложности задачи поиска оптимального аффинного преобразования [195]. Модели теории нечетких множеств [178] часто используются либо для уточнения существующих моделей, использование которых в виду ограничений на дискретность значений констант невозможно, либо для построения очень обобщенных моделей полностью в элементах нечеткой логики, не учитывающих специфику отдельных элементов ИКС. Нейросетевые и генетические алгоритмы при проявленных преимуществах для решения частных задач высокой размерности по видам обеспечения (в том числе контроля) элементов ИКС часто проигрывают традиционным по объяснимости получаемых результатов [200]. В целом применение интеллектуальных технологий и средств моделирования потребует существенной перестройки как системы автоматизированного проектирования (САПР) ИКС, так и их СУС, что, в конечном счете, сопряжено с серьезными материальными затратами.

Из изложенного следует, что для количественного описания физической структуры ПИКС целесообразно использовать иерархию ФХ, комплекс макро- и детальных графо-матричных моделей в рамках СФП. На субуровне настоящих исследований (при описании АТ) более конструктивными оказываются модели ФСП.

1.3.2. Анализ существующих подходов к постановкам и решению задач анализа и синтеза (оптимизации характеристик) инфокоммуникационных систем и их элементов

Ответственность ДЛ за объективное количественное решение различных задач построения ИКС в последние годы существенно повышается из-за постоянного роста объема и важности обслуживаемого трафика, сложности и стоимости АПСС и направляющих систем телекоммуникаций. От лиц, принимающих решения, требуется, с одной стороны, обеспечить эволюционность в развитии ИКС, с другой стороны, – заложить ресурсы для ее быстрой адаптации под условия СФ [117, 136, 205].

Стадийность жизненного цикла ИКС, породила последовательность системотехнических задач, позволяющих получить важные для практики решения по управлению ресурсами инфраструктуры, обоснованию этапности их развития, формированию требований к свойствам подсистем и компонентов. К основным из них относятся концептуальное проектирование, планирование, проектирование (конструирование) и оперативное управление (регулирование) [117].

Отказ от традиционного принципа предоставления услуг связи в пользу полимодального представления информации пользователя потребует пересмотра подходов к решению основных системотехнических задач. Он осложняется, главным образом тем, что отсутствует возможность измерения свойств информационной инфраструктуры (желаемый облик которой существует только виртуально), а "представление о наилучшем решении неоднозначно и противоречиво" [205], даже без учета возможных изменений условий СФ. Кроме того, процесс оптимизации решений по построению ИКС зависит от начальных условий, определяемых предпроектными альтернативами [117, 188]: создается новая система или "расширяется" существующая. Развитие имеющейся системы сначала требует поиска ее "узких мест", несоответствий между желаемым и действительным положением дел, которые идентифицируются в ходе *анализа*. Создание новой системы состоит в решении задачи *синтеза*. Часто синтез ИКС включает в себя априорное задание

множества вариантов построения системы и их перебора до определения оптимального по одному или совокупности критериев ("синтез через анализ").

К настоящему времени в современной науке сложилось три принципиально различающихся подхода к формализации задач синтеза, отражающих взаимосвязь между исходными данными и представлениями о структуре и функционировании сложной системы [205]:

синтез структуры системы при заданных алгоритмах ее функционирования (1-й класс задач);

синтез оптимального поведения и алгоритмов функционирования системы при известной структуре (2-й класс задач);

синтез структуры и алгоритмов (поведения) функционирования системы, распределения их оптимального состава (3-й класс задач).

К настоящему времени известны и широко применяются в предметной области достаточно строгие методы решения задач:

синтеза технической структуры АПСС при его заданной функциональной структуре [6, 9, 71, 76, 82, 84, 125, 155, 185, 199];

синтеза структуры G_{Φ} СПД при заданной сетевой технологии в рамках структурно-функционального подхода [109, 117, 188, 205, 215 и др.];

обоснования технологий передачи и обработки сигналов для известной структуры G_{Φ} ПИКС в рамках функционально-структурного подхода [3, 10, 68, 129].

Исследования показывают, что при наблюдающемся прогрессе в решении 1-го и 2-го класса задач практически отсутствуют подходы к формализации и решению 3-го класса задач, к которым в методологическом плане примыкают задачи синтеза ПИКС. Из изложенного в п. 1.3.1 (с учетом предложенной ранее редукции объекта исследования на СПД и АТ) следует, что решение этих задач может быть найдено при комплексировании СФП и ФСП.

В рамках СФП системотехнические задачи традиционно представляют собой взаимоувязанный комплекс задач анализа и оптимизации характеристик ИКС или ее подсистем через параметры ее физической структуры. Такие задачи для ПИКС далее будем называть *задачами по оптимизации структуры* (ЗОС). Клас-

сическая ЗОС включает в свой состав частные задачи по синтезу (оптимизации) топологической $G_{\text{ТОП}}$ и потоковой $G_{\text{ПОТОК}}$ структур сети, в совокупности обеспечивающих минимум критерия экономической природы при выполнении ограничений на вероятностно-временные характеристики. В свою очередь в составе СПС традиционно выделяются задачи по выбору пропускных способностей оборудования, распределению потоков по сети [188].

При традиционной постановке ЗОС перед проектировщиком встает необходимость решения *NP-полной* задачи смешанного программирования [188]. Такие переменные, как число узлов и линий связи, ранги путей и вершин графа являются целочисленными. Выбор пропускных способностей каналов связи и производительностей СК осуществляется из некоторого дискретного ряда. Различные потоковые и вероятностно-временные характеристики представляют собой непрерывные переменные. Поиск оптимального распределения однотипных ресурсов по географии сети требует манипуляций в комбинаторных пространствах.

При использовании графо-матричных моделей (п. 1.3.1) вычислительная сложность ЗОС является полиномиальной [78, 81, 117, 188]. Для решения таких задач на сегодняшний день в практике проектирования ИКС установились декомпозиционный и глобальный подходы.

В первом случае ИКС разбивается, например, как было предложено выше, на АТ и СПД, структуры которых оптимизируются отдельно. Очевидно, что декомпозиционному подходу свойственен такой недостаток, как неконтролируемая ошибка декомпозиции, поскольку часто открытым остается вопрос выбора подсистем и распределения общесистемных норм между ними.

Второй подход подразумевает работу со структурой ИКС в целом и на первый план выступает проблема снижения вычислительной сложности ЗОС. Снижение вычислительной сложности ЗОС может быть получено за счет огрубления топологического и/или потокового представления сети, функциональной и/или конструктивной структуры АПСС.

В ряде случаев для решения ЗОС высокой вычислительной сложности применяется многоэтапная процедура [117]. Такой подход базируется на применении

серии различающихся степенью адекватности (и соответственно размерностью) моделей, для которых выходные результаты очередного этапа оптимизации являются начальными условиями поиска для последующего этапа. Роль небольших отклонений от точных решений для "огрубленных" (макро-) моделей первого этапа уменьшается при переходе к "прецизионным" моделям заключительных этапов. Исследования показали, что наблюдаемые в реальных условиях среднестатистическая точность исходных данных и погрешности, вносимые модельными допущениями, позволяют с достаточной для практики точностью ограничиться двумя этапами решения типовых ЗОС.

Независимо от применения декомпозиционного или глобального подхода выбор алгоритма решения конкретной ЗОС определяется особенностями ее постановки, например, спецификой предпроектной ситуации: создается новая ИКС или совершенствуется существующая. Таким образом, ЗОС может быть сведена к той или иной задаче математического программирования или их последовательности. Например, синтез топологической структуры – смешанное программирование, определение плана распределения потоков – нелинейное программирование, синтез структуры ПМИО – комбинаторное программирование, ЗОС ИКС в развитии – динамическое программирование и т. п.

В предметной области для решения ЗОС сетей связи (СПД) широко применяются методики и алгоритмы оптимизации их структуры, построенные по итерационно-циклической схеме и сводящиеся к поочередному решению частных задач СТС, ВПС и РП. Например, вначале синтезируется граф структуры сети, затем производится РП, ВПС и т.д. В некоторых случаях в ходе синтеза сети задача ВПС решается до распределения потоков, в том числе методами теории телетрафика [188], при чем единицей канального ресурса является "шаг квантования" пропускной способности конкретной заданной технологии. Как бы то ни было, обоим подходам свойственен один существенный недостаток – комбинация выбранного РП и назначенных пропускных способностей оказывается априорно смещенной, в результате чего уменьшается возможность оптимизации экономических показателей сети [109]. Кроме того, обилие обратных связей в этих мето-

диках и алгоритмах обуславливают необходимость после решения очередной частной задачи корректировать результаты ранее решенных частных задач.

При синтезе структур ИКС уже многие годы широко используются методы "ветвей и границ" и "устранения ребер", адаптированных под цели оптимизации структуры. Однако из-за высокой вычислительной сложности вне зависимости от применяемого поискового алгоритма возможности этих методов решения ЗОС на практике ограничиваются числом узлов соответствующего графа $N_v \leq 30$. Недостатками применения эвристических (в том числе переборных) алгоритмов являются трудность выбора стартовой топологии, во многом определяющей эффективность оптимизации, и необходимость периодической проверки ограничений по связности структуры [117, 188]. Им свойственны также существенные временные затраты на поиск допустимого начального плана распределения потоков.

Декомпозиционный подход предлагает применять алгоритмы ЗОС отдельно для каждой структуры, что приводит к неконтролируемой ошибке декомпозиции. Следовательно, для синтеза многоструктурных ИКС целесообразно применение глобального подхода и многоэтапной процедуры.

Выявленные недостатки существующих подходов к решению ЗОС ИКС стимулируют развитие теоретико-методологической базы проектирования. Перспективным в этом смысле является комплексный подход, базирующийся одновременно на структурно-функциональной и функционально-структурной методологиях. Такое комплексирование позволяет, например, в *плоскости систем передачи* оптической транспортной сети (рис. 1.13) описывать компоненты в качестве иерархически упорядоченного набора функций передачи, а в *плоскости проектирования* физические модули наглядно представляются в виде совокупности структурных альтернатив. Однако, вопрос, что из себя должен представлять такой комплексированный подход для АПСС, в частности для многомодальных АТ, по-прежнему остается открытым.

Таким образом, проблематика настоящего исследования, обусловленная переходом от традиционного принципа предоставления услуг связи в сторону поли-

модального представления информации пользователя, локализуется на развитии методов решения задач оптимизации структуры ПИКС с учетом:

специфики применения многомодальных интерфейсов для реализации эффективного коммуникативного взаимодействия субъектов ИнфП;

особенностей функционирования ПИКС в части согласования изменяющихся режимов работы АТ и СПД.

1.3.3. Формализация показателей качества и эффективности полимодальных инфокоммуникационных систем

Количественная оценка степени достижения цели функционирования ИКС и доли участия в этом результате ее подсистем и физических модулей (для ПИКС, например, АТ и СПД) является одной из самых насущных теоретических проблем предметной области. В соответствии с принципом дополнительности Бора (в расширенной трактовке) в настоящем исследовании далее рассматриваются во взаимосвязи два аспекта оценки эффективности функционирования ПИКС: *внутренний* и *внешний*. В первом случае осуществляется оценка того, насколько близко количественные значения ФХ объекта исследования (ПИКС) соответствуют требуемым (или потенциально возможным) значениям. Второй аспект заключается в определении того вклада в достижение цели метасистемы, который вносит ПИКС.

Классический подход [10, 62, 136, 161 и др.] к оцениванию эффективности ИКС состоит в анализе их качественных характеристик и получении соответствующих частных показателей эффективности. На их основе методами аддитивной или мультипликативной свертки удастся сформировать некий обобщенный показатель эффективности системы. В предметной области синтеза инфокоммуникаций доказано, что значение такого обобщенного показателя эффективности будет определяться как физической структурой системы, так и свойствами информационного потока, поступающего от абонентов [21].

Пусть при отсутствии дестабилизирующих факторов среды состояние ПИКС характеризуется ее качеством $Q_0^{\text{ПИКС}}$. В результате влияния СФ фактиче-

ское качество ПИКС будет изменяться во времени $Q^{\text{ПИКС}}(t)$, при этом для абонента (ДЛ) важно, чтобы абсолютное отклонение этой величины от расчетной не превышало некоторого заданного значения

$$\Delta Q^{\text{ПИКС}}(t) = |Q_0^{\text{ПИКС}} - Q^{\text{ПИКС}}(t)| \leq \Delta Q^{\text{доп}}(t).$$

Следовательно, *внешнюю эффективность* ПИКС ($\mathcal{E}^{\text{ПИКС}}$) логично трактовать как *устойчивость*, т. е. определять в виде максимального значения $\Delta Q^{\text{ПИКС}}$, которое она способна обеспечить в заданных условиях при ограничениях на приведенные затраты $C_{\text{пр}}^{\text{ПИКС}}$ на ее построение и эксплуатацию:

$$\mathcal{E}^{\text{ПИКС}} = \Psi_{\text{вэ}}(\Delta Q^{\text{ПИКС}}, C_{\text{пр}}^{\text{ПИКС}}), \quad (1.5)$$

$$C_{\text{пр}}^{\text{ПИКС}} \leq C_{\text{пр}}^{\text{ПИКС доп}}, \quad (1.6)$$

где $\Psi_{\text{вэ}}$ – оператор, определяемый структурами и ФХ ПИКС; $C_{\text{пр}}^{\text{ПИКС доп}}$ – допустимые приведенные затраты на ее построение и эксплуатацию, определяемые метасистемой.

Очевидно, что для оценки внешней эффективности ПИКС необходимо *уметь рассчитывать* величины $\Delta Q^{\text{ПИКС}}$ и $C_{\text{пр}}^{\text{ПИКС}}$.

Отказ от традиционных принципов предоставления услуг связи, а также необходимость обеспечить взаимодействие процедур обработки сообщений разной модальности в АТ и операций передачи соответствующих БД через СПД обусловили выбор в качестве показателей качества ПИКС следующие параметры: целостность, своевременность, безопасность, производительность и надежность доставки информации (рис. 1.19) [74, 166-171].

В соответствии с [74] субъекты ИнфП должны обеспечиваться *надежно и своевременно предоставляемой, полной, достоверной и конфиденциальной информацией*. Достижимый современными технологиями уровень *безопасности и надежности* [74, 83] информационных инфраструктур позволяет указанные частные показатели эффективности в ходе настоящего исследования использовать в

качестве ограничений. Дальнейшее внимание будет сконцентрировано на частных показателях: целостности, своевременности и производительности.



Рисунок 1.19 – Частные свойства информационных, телекоммуникационных и полимодальных инфокоммуникационных систем

Под *целостностью* информации далее понимается свойство ПИКС, отражающее ее способность обеспечивать требуемые полноту и точность воспроизведения передаваемой информации (сообщений) заданного объема.

Полнота информации – свойство ПИКС обеспечивать на выходе абонентского терминала такое количество (объем) объектов учета (ОУч), какое требуется для достоверного восприятия принятой информации получателем:

$$\Pi_{\text{ПИКС}} = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M x_m^{\text{ОУч}}, \quad (1.7)$$

где M – минимально необходимое число ОУч, а m -й показатель полноты

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

Если в традиционных инфокоммуникациях ОУч на уровне СПД являются БД, соответствующие услугам связи, то для ПИКС под ОУч целесообразно понимать БД, несущие сведения о различных аспектах коммуникативного акта (сторонах общения). Это соответствует принятому в данной работе отказу от традиционных принципов предоставления пользователю услуг связи в пользу обеспечения многомодальности коммуникации через технические средства связи.

Точность – свойство ПИКС обеспечивать получение согласованных результатов обработки и передачи ОУч, необходимых для достоверного восприятия принятой информации. На уровне СПД это можно формализовать следующим образом:

$$T_{\text{ПИКС}} = \frac{N_{\text{ТОЧН. БД}}}{t} = \frac{N_{\text{ТОЧН. ОБРАБ. БД}}}{t} + \frac{N_{\text{ТОЧН. ДОСТ. БД}}}{t} =$$

$$= \frac{\alpha \cdot N_{\text{СООБЩ}} - N_{\text{ИСКАЖ. СООБЩ}}}{t} + \frac{(\alpha - 1) \cdot N_{\text{СООБЩ}} - N_{\text{ПОТЕР. БД}}}{t},$$

где $N_{\text{ТОЧН. БД}}$ – общее количество точно обработанных $N_{\text{ТОЧН. ОБРАБ. БД}}$ и доставленных $N_{\text{ТОЧН. ДОСТ. БД}}$ БД; $N_{\text{СООБЩ}}$ – общее количество сообщений, сформированных в результате обработки полимодальной информации и переданных в виде БД; $\alpha \in (0,1)$ – коэффициент пропорциональности; $N_{\text{ИСКАЖ. СООБЩ}}$ – количество искаженных сообщений, не позволяющих получить достоверную информацию; $N_{\text{ПОТЕР. БД}} = N_{\text{СООБЩ}} \cdot PLR$ – количество потерянных (доставленных не по назначению) блоков данных; PLR (*Packet Loss Ratio*) – коэффициент потери пакетов (блоков данных).

Своевременность – свойство ПИКС обеспечивать представление выходной информации в сроки, гарантирующие выполнение соответствующей функции согласно целевому назначению системы:

$$C_{\text{ПИКС}} = t_{\text{ОБР}} + (t_3 \pm \Delta t_3),$$

где $t_{\text{ОБР}}$ – время ввода/вывода и обработки полимодальной информации; $(t_3 \pm \Delta t_3)$ – задержка передачи сообщений (блоков данных).

Требования к рассмотренным показателям своевременности в телекоммуникациях представлены ниже в таблице 1.3 [170].

Таблица 1.3 – Целевые показатели своевременности

Приложение	Типовые скорости передачи данных	$t_3^{\text{доп}}$	Δt_3	Потери информации
Телефония	4–64 кбит/с	< 150 мс; < 400 мс*	< 1 мс	PLR < 3 %
Передача голосовых сообщений	4–32 кбит/с	< 1 с – для воспр. < 2 с – для записи	< 1 мс	PLR < 3 %
Высококачественное потоковое аудио	16–128 кбит/с	< 10 с	<< 1 мс	PLR < 1 %
Видеотелефония	16–384 кбит/с	< 150 мс; < 400 мс*		PLR < 1 %
Передача видео		< 10 с		PLR < 1 %
Web-навигация	≈ 10 кбайт/с	< 2 с/страница; < 4 с/страница*	Не применяется	0
Передача массивов данных	$10\text{--}10^4$ Мбайт/с	< 15 с; < 60 с*		0
Осуществление транзакций	< 10 кбайт/с	< 2 с; < 4 с*		0
Команды (управление)	≈ 1 кбайт/с	< 250 мс		0
Неподвижное изображение	< 100 кбайт/с	< 15 с; < 60 с*		0
Электронная почта (доступ к серверу)	< 10 кбайт/с	< 2 с; < 4 с*		0
Электронная почта (сервер-сервер)	< 10 кбайт/с	Может достигать нескольких мин		0

* – при передаче блоков данных по каналам спутниковой связи

Производительность – свойство ПИКС обеспечивать обслуживание с требуемым качеством требуемого объема ОУч на заданном интервале времени. В простейшем случае однородных ПИКС производительность ($\text{Пр}^{\text{ПИКС}}$) может оцениваться суммарной скоростью передачи данных (БД) между всеми пользователями.

Для оценки эффективности ПИКС далее предлагается использовать обобщенный показатель, представляющий собой ее гипотетический информационный объем и определяемый скалярным произведением частных показателей качества ее функционирования:

$$V^{\text{ПИКС}} = \text{Пр}^{\text{ПИКС}} \cdot B^{\text{ПИКС}} \cdot C^{\text{ПИКС}}, \quad (1.8)$$

где $B^{\text{ПИКС}} = 1/C^{\text{ПИКС}}$ – быстродействие системы³.

С одной стороны, обобщенный показатель эффективности (1.8) включает в себя все основные показатели качества функционирования СПД [207], с другой – все ее компоненты взаимосвязаны между собой, но одного или двух из них недостаточно для системного отражения свойств ПИКС.

Выбор рабочей точки в объеме $\text{sup} V^{\text{ПИКС}}$ (рис. 1.20, а) может быть осуществлен, исходя из различных соображений.

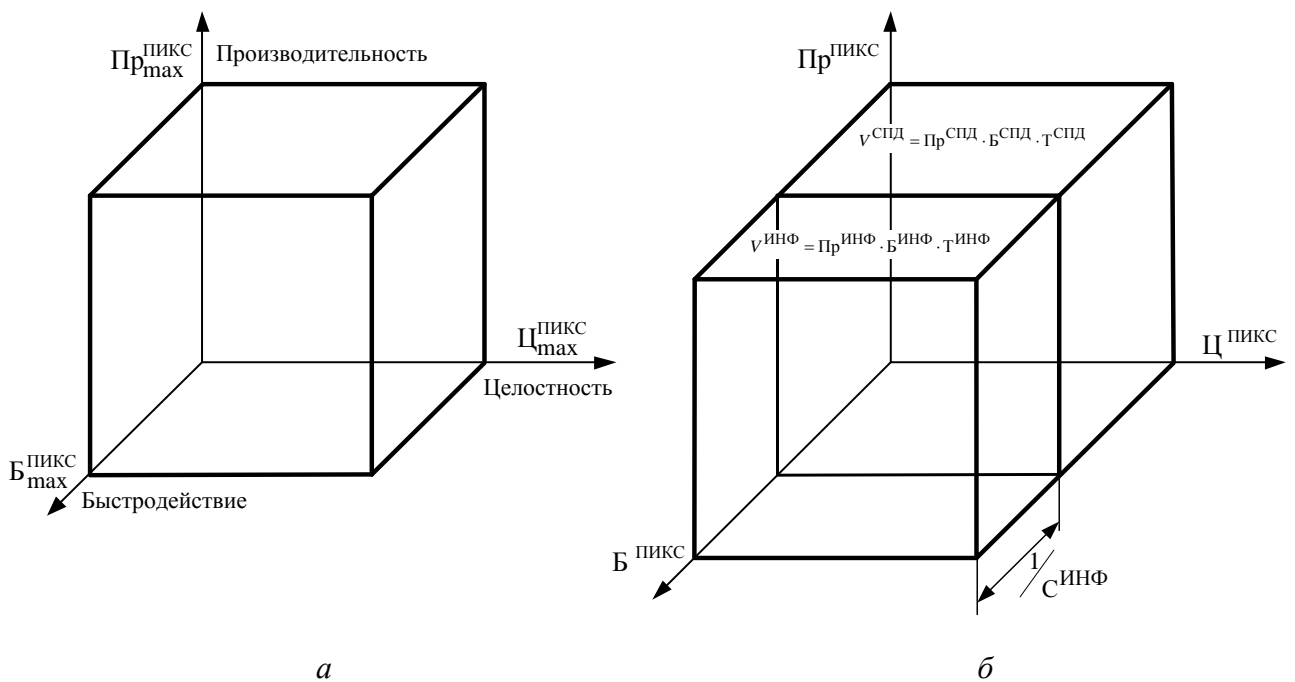


Рисунок 1.20 – Обобщенный показатель эффективности ПИКС (а) и его декомпозиция (б)

Если пространство Φ качества функционирования ПИКС метрическое, то имеет место некоторое отображение

$$V_i^{\text{ПИКС}}: N_i^{\text{ПИКС}} \rightarrow \Phi, \quad V_i^{\text{ПИКС}} = \text{Пр}_i^{\text{ПИКС}} \cdot B_i^{\text{ПИКС}} \cdot \text{Ц}_i^{\text{ПИКС}},$$

где $V_i^{\text{ПИКС}}$ – неотрицательная счетно-аддитивная функция, представляющая собой меру в пространстве показателей качества функционирования ПИКС, а $N^{\text{ПИКС}}$ –

³ Показатель вводится для обеспечения измеримости гипотетического объема ПИКС и ее компонентов в c^{-3} .

многомерное множество альтернативных параметров и структур ПИКС, сформированное на основе полимодельного описания исследуемой предметной области. Каждой паре $H_i^{\text{ПИКС}} \in \Phi, H_j^{\text{ПИКС}} \in \Phi$ соотносится вещественное число $\rho(H_i^{\text{ПИКС}}, H_j^{\text{ПИКС}})$, т. е. расстояние между элементами пространства, удовлетворяющее условиям теории меры.

Показатели качества функционирования ПИКС являются компонентами вектора R в пространстве Φ . Процесс функционирования инфокоммуникационной системы и любого из ее элементов в Φ может происходить только в рамках их максимальных $Pr_{\text{max}}^{\text{ПИКС}}, B_{\text{max}}^{\text{ПИКС}}, C_{\text{max}}^{\text{ПИКС}}$ нагрузочных характеристик. Для сравнения различных вариантов (проектных альтернатив) построения ПИКС при ограничении (1.6) целесообразно использовать показатель удельной себестоимости [179]:

$$\zeta^{\text{ПИКС}} = \frac{V^{\text{ПИКС}}}{C_{\text{пр}}^{\text{ПИКС}}}, \quad (1.9)$$

максимальное значение которого определит лучшее решение для рассматриваемых условий.

С учетом принятой иерархии функциональных характеристик ПИКС (рис. 1.18), возможностей современных СПД по передаче полимодальной информации (п. 1.2.2) и достаточной разработанности научно-методического инструментария синтеза таких сетей показатель (1.6) может быть декомпозирован на удельную себестоимость средств обработки информации $\zeta^{\text{ИНФ}}$ (АТ) и удельную себестоимость СПД $\zeta^{\text{СПД}}$:

$$\zeta^{\text{ИНФ}} = \frac{V^{\text{ИНФ}}}{C_{\text{пр}}^{\text{ИНФ}}}; \quad (1.10)$$

$$\zeta^{\text{СПД}} = \frac{V^{\text{СПД}}}{C_{\text{пр}}^{\text{СПД}}}; \quad (1.11)$$

$$V^{\text{ИНФ}} = Pr^{\text{ИНФ}} \cdot B^{\text{ИНФ}} \cdot C^{\text{ИНФ}};$$

$$V^{\text{СПД}} = Pr^{\text{СПД}} \cdot B^{\text{СПД}} \cdot C^{\text{СПД}}; \quad (1.12)$$

$$B^{\text{ИНФ}} = \frac{1}{C^{\text{ИНФ}}} = \frac{1}{t_{\text{ОБР}}}; \quad (1.13)$$

$$B^{\text{СПД}} = \frac{1}{C^{\text{СПД}}} = \frac{1}{(t_3 \pm \Delta t_3)};$$

$$\text{Пр}^{\text{ИНФ}} = \sum_{j=1}^J B_j, \quad (1.14)$$

$$\text{Пр}^{\text{СПД}} = \sum_{k=1}^K U_k; \quad (1.15)$$

где $V^{\text{ИНФ}}$ и $V^{\text{СПД}}$ – гипотетический объем обрабатываемой информации и СПД соответственно (рис. 1.20, б); $\text{Пр}^{\text{ИНФ}}$ и $\text{Пр}^{\text{СПД}}$ – производительность источника информации и СПД соответственно; $C^{\text{ИНФ}}$ и $C^{\text{СПД}}$ – своевременность обработки и передачи информации (сообщений) соответственно; B_j – скорость выдачи информации j -м источником (сигналы различной природы – для традиционных ИКС, модальности – для ПИКС); J – число таких источников; U_k – ресурс пропускной способности для сообщений k -го типа; K – число одновременно передаваемых сообщений (потоков БД).

Ученые ЦНИИС [165, 193, 207] всесторонне исследовали и широко применяют инструментарий анализа и синтеза сетей по ФХ нагрузочной способности и удельной себестоимости сетей связи (1.12). Ими доказано, что задачу по поиску наилучшего варианта построения СПД с учетом новых возможностей ее транспортной подсистемы не обязательно производить путем свертки (часто субъективной) ее внешних ФХ. Целесообразнее осуществить выбор из множества альтернатив, структур и функциональных характеристик компонентов, обеспечивающих максимизацию удельной стоимости ИКС (СПД).

Руководствуясь основными принципами научного познания [62, 196, 197] в настоящем исследовании будет постоянно использоваться ассоциирование свойств АТ как части и ИКС как целого. Это позволит контролировать полноту и непротиворечивость (в смысле известных теорем К. Геделя) теоретических постулатов, выдвигаемых относительно ИКС. Кроме того, в познании взаимоисключо-

чающих классов понятий АТ и СПД обеспечивается их соответствие принципу дополненности Н. Бора [113, 205].

Учитывая, что ОУч на уровне СПД являются БД, полнота информации, передаваемой в них $\Pi^{\text{СПД}} = 1$, тогда целостность $\Psi^{\text{СПД}}$ будет полностью определяться точностью передачи данных

$$T^{\text{СПД}} = \frac{N_{\text{Точн. дост. БД}}}{t},$$

а гипотетический объем (1.15) примет вид

$$V^{\text{СПД}} = \text{Пр}^{\text{СПД}} \cdot B^{\text{СПД}} \cdot T^{\text{СПД}}. \quad (1.16)$$

Тогда задачу поиска наилучшего варианта построения СПД ПИКС целесообразно осуществлять на основе выбора альтернатив, структур и функциональных характеристик компонентов, обеспечивающих максимизацию удельной себестоимости (1.11) с учетом выражений (1.12), (1.13) и (1.14) [165, 179, 193, 207].

При обеспечении требований к производительности $\text{Пр}^{\text{ИНФ}} \leq \text{Пр}^{\text{СПД}}$ и своевременности $C^{\text{ИНФ}} + C^{\text{СПД}} \leq 1/B_{\text{макс}}^{\text{ПИКС}}$ ключевым показателем удельной себестоимости информации будет являться ее целостность:

$$\Psi^{\text{ИНФ}} = \Pi^{\text{ИНФ}} \cdot T^{\text{ИНФ}}, \quad (1.17)$$

характеризующая полноту и точность отражения требуемых состояний реально существующих ОУч.

Информацию можно считать полной, когда она содержит минимальный, но достаточный для достижения цели функционирования системы набор показателей. Как неполная, так и избыточная информация снижает эффективность функционирования ПИКС.

С учетом выражения (1.7) целостность полимодальной информации (1.17) можно оценивать с помощью следующего выражения:

$$\Psi^{\text{ИНФ}} = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M x_m^{\text{ОУ}} D_m, \quad (1.18)$$

где D_m – показатель достоверности оценивания состояния m -го ОУч.

При этом под *достоверностью* следует понимать свойство полимодальной информации отражать реальное или оцениваемое состояние объектов и процессов прикладной области (ОУч) со степенью приближения (*точностью*), обеспечивающей эффективное использование этой информации согласно целевому назначению системы (достижение цели функционирования системы).

Следует учесть, что при такой интерпретации размерность показателя $\Pi^{\text{ИНФ}}$ (с^{-1}) при вероятностной оценке достоверности D_m сохраняется за счет введения соответствующей размерности для показателей $x_m^{\text{ОУ}}$.

Таким образом, 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 (1.18) и своевременности полимодальной информации будет определять *внешнюю эффективность* ПИКС.

Необходимость согласования производительностей источника информации (АТ) и СПД ($\text{Пр}^{\text{ИНФ}} \leq \text{Пр}^{\text{СПД}}$) обусловила целесообразность введения единицы канального ресурса (ЕКР) [213]:

$$\kappa = \text{НОД}(B_1, \dots, B_J, U_1, \dots, U_K), \quad (1.19)$$

где НОД – наименьший общий делитель целочисленных значений скоростей B_i выдачи информации различными источниками (источниками различных модальностей) и требований U_k к ресурсу пропускной способности, необходимому для передачи полимодальной информации.

Очевидно, что такая величина (1.19) будет меньше любых «шагов квантования» производительности, используемых в традиционных задачах синтеза телекоммуникационных систем, что свидетельствует об увеличении числа степеней свободы при решении задач синтеза ПИКС. Результаты моделирования канального ресурса на базе ЕКР являются более прецизионными, а решение задач выбора скорости передачи (выдачи) – более точным [188].

Следовательно, в соответствии с принципом дополнительности Бора доля ЕКР, задействованных для передачи полезной (пользовательской) информации в

общем ресурсе, затраченном СПД, может быть использована в качестве показателя *внутренней эффективности* ПИКС. Однако в традиционных инфокоммуникационных системах каждая ЕКР находится в результате нахождения НОД от значений битовой емкости кадров уже после применения заданных технологий кодирования и передачи. Следовательно, для «новых услуг» ПИКС должны применяться «свои» ЕКР. Используя имеющиеся результаты в области проектирования и реализации многомодальных интерфейсов, можно предположить, что в многомодальных АТ ПИКС есть возможность организовать необходимое число ЕКР, способных в различных ситуациях обеспечить реализацию полимодальных услуг. Это позволит увеличить вариативность решения задач синтеза ПИКС, однако требует проведения дополнительных теоретических исследований возможности организации необходимого числа ЕКР.

1.4. Концепция исследований. Постановка общей и частных задач исследований

В предметной области [72, 175, 186, 198, 211, 243, 256, 272, 273 и др.] можно выделить два подхода к представлению сообщений пользователей. Первый основан на разделении передаваемой информации на услуги (связи и информатизации), к использованию которых пользователь привык. Альтернативой ему выступает многомодальное представление сообщений пользователя. Как показывает анализ межличностной коммуникации (п. 1.1), телекоммуникационные услуги не обеспечивают требуемой эффективности общения, что, по большому счету, не имеет дальнейшего развития. Второй подход нашел широкое применение в информационных технологиях и, имея при этом достаточно неплохие результаты, создает предпосылки к построению инфокоммуникационных систем, наделенных «перцептивными» функциями. Следовательно, возникает необходимость решения актуальной проблемы практики (рис. 1.21) – проблемы повышения эффективности коммуникативного взаимодействия субъектов ИнфП. Решение этой проблемы

возможно посредством разработки и внедрения ИКС нового поколения – полимодальных ИКС.

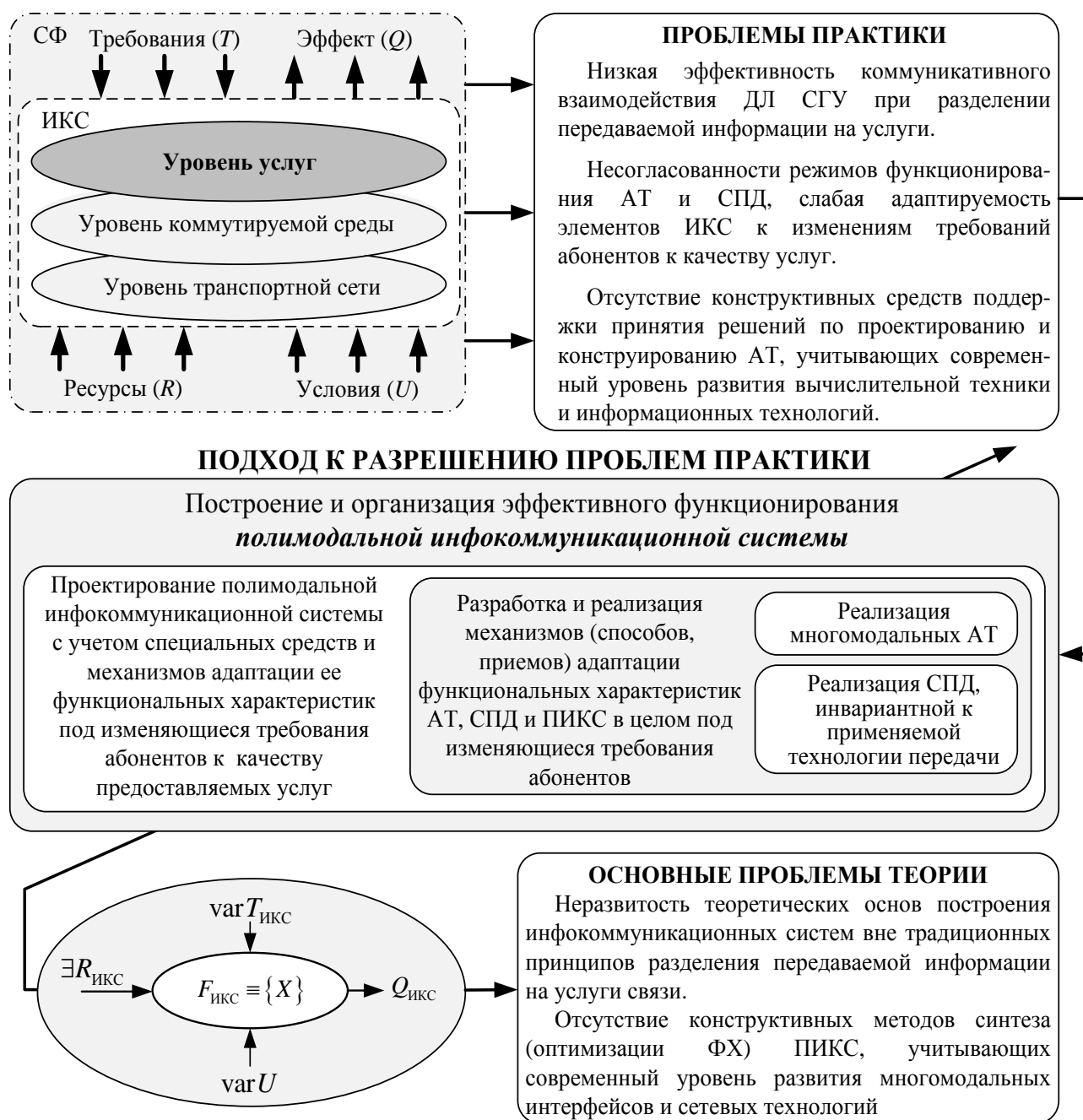


Рисунок 1.21 – Концепция исследования

Внедрение новых интегрированных АПСС, в частности многомодальных АТ, сдерживается капиталностью и инерционностью транспортной инфраструктуры ИКС. Преодоление этой диспропорции выливается в потребность ре-

шения частной проблемы несогласованности режимов функционирования АТ и СПД, слабой адаптируемости элементов ИКС к изменениям требований абонентаов к номенклатуре и качеству услуг (в ПИКС – к качеству предоставляемой информации).

Кроме того, практика проектирования и конструирования современных АТ до сих пор базируется на средствах поддержки принятия решений, разработанных для одномодальных интерфейсов [6, 125]. Эта диспропорция обусловила наличие проблемы отсутствия конструктивных средств, способов и приемов проектирования, технической реализации и оценки эффективности многомодальных АТ, учитывающих современный уровень развития вычислительных средств [32, 42, 49].

В настоящем исследовании решение выделенных выше частных проблем практики предлагается осуществлять:

на субуровне исследований – посредством разработки и внедрения многомодальных абонентских терминалов и реализации адаптации (а в идеальном случае инвариантности) СПД к нагрузке, поступающих от таких АТ;

на макроуровне исследований – посредством разработки и внедрения механизмов (способов, приемов, процедур, алгоритмов) адаптации ФХ терминального оборудования, каналов СПД и ИКС в целом под изменяющиеся требования пользователей, обусловленных их деятельностью в ИнфП;

на метауровне исследований – путем реализации "полиmodalности" ИКС, т. е. построения ИКС, в которой по запросу пользователя предоставляется канал межличностной коммуникации, оснащенный modalностями в соответствии с решаемой задачей и/или с личными пристрастиями.

Решение проблем практики невозможно без развития теории. Постоянный рост требований пользователей к количеству, и, главное, к качеству предоставляемых услуг (предоставляемой информации) приводит к тому, что возможностей (объема $V_0^{\text{ПИКС}}$) действующей ИКС становится недостаточно. Проявляющаяся диспропорция является ядром основной, *постоянно возрождающейся, проблемы*, требующей все новых и новых решений по мере изменения и расширения потребностей пользователей и совершенствования инфокоммуни-

кационных технологий. Существующая практика решения этой проблемы подразумевает:

освоение ИКС все больших и больших дополнительных материальных ресурсов (в настоящее время – пропускной способности каналов и трактов СПД), т. е. увеличение $V_0^{\text{ПИКС}}$ (экстенсивный путь);

разработку новых приемов и способов обеспечения эффективности ИКС, т. е. повышение удельной себестоимости $\zeta^{\text{ПИКС}}$ (интенсивный путь).

Экстенсивный путь интуитивно понятен, часто применяется на практике, но такие решения дорого обходятся государственному бюджету.

Попытка реализации интенсивного пути на основе традиционных средств моделирования, постановки и решения задач синтеза ИКС выявила ряд проблем теории, а именно:

на субуровне не решены задачи моделирования процессов обслуживания сигналов различной модальности в ИКС, отсутствуют средства количественного описания свойства полимодальности;

на макроуровне до сих пор не ставились и не решались задачи синтеза структуры ИКС вне традиционных принципов предоставления услуг связи. Не разработаны комплексные подходы к моделированию, постановкам и решениям прикладных задач, рассматривающих свойства АТ во взаимосвязи с процессами во взаимодействующих элементах ИКС, параметры модальностей с физической структурой системы и характеристиками подсистем, обеспечивающих ее функционирование. Практически отсутствуют подходы к формализации и решению задач синтеза многомодальных интерфейсов, технология обработки в которых не определена заранее;

на метауровне не ставились задачи использования современных достижений когнитивной науки в области многомодального взаимодействия для обеспечения минимизации барьеров межличностной коммуникации субъектов ИнфП. стабильности функционирования ИКС условиях изменений требований пользователей за счет ее полимодальности.

Таким образом, в предметной области к настоящему времени имеет место отставание теории построения ИКС от потребностей практики и современного уровня развития многомодальных интерфейсов и сетевых технологий.

Для решения сформулированных выше проблем теории выбран путь совершенствования канонических подходов [4, 67, 74, 78, 87, 117, 126, 188, 205] к моделированию, постановкам и решению задач синтеза (оптимизации ФХ) систем в направлении более полного учета возможностей современных информационно-коммуникационных технологий. Успехи в решении 1-го и 2-го класса задач синтеза (п. 1.3.2) свидетельствуют о потенциальной возможности решения проблем теории (в том числе при решении 3-го класса задач) на основе комплексирования структурно-функционального и функционально-структурного подходов.

На субуровне исследований это комплексирование подразумевает представление *функциональной структуры* (рис. 1.22) многомодальных АТ в качестве иерархически упорядоченного набора функций обработки, а *структуры ПМИО* – в виде совокупности структурных альтернатив.

На макроуровне уже АТ и СПД представляются функциональными модулями, при этом физическая структура СПД формализуется в рамках СФП.

Наличие структурных альтернатив позволяет учесть параметрическую и структурную динамику ПИКС на различных этапах их жизненного цикла (проектирование; инсталляция; эксплуатация; распад).

Реконфигурация ПИКС⁴ для обеспечения эффективности ее функционирования закладывается в ходе проектирования путем учета в проекте различных форм структурной избыточности под конкретные методы резервирования (аппаратного, линейного, сегментного (подсетевого), системного (сетевого)).

При решении задачи синтеза топологической структуры СПД закладывается структурная избыточность в абстрактный граф. В ходе распределения потоков

⁴ Целенаправленный процесс изменения физической структуры ПИКС в целях сохранения, восстановления, повышения уровней надежности и живучести сети, либо обеспечения минимального их снижения при возможной деградации и/или выходе из строя элементов и подсистем (АПСС и СПД).

обеспечивается доступность через резервные и/или обходные направления связи. Решение задачи выбора пропускных способностей АПСС и НСЭС обеспечивает заданную производительность физической структуры СПД на нормальный и аварийный режимы работы.

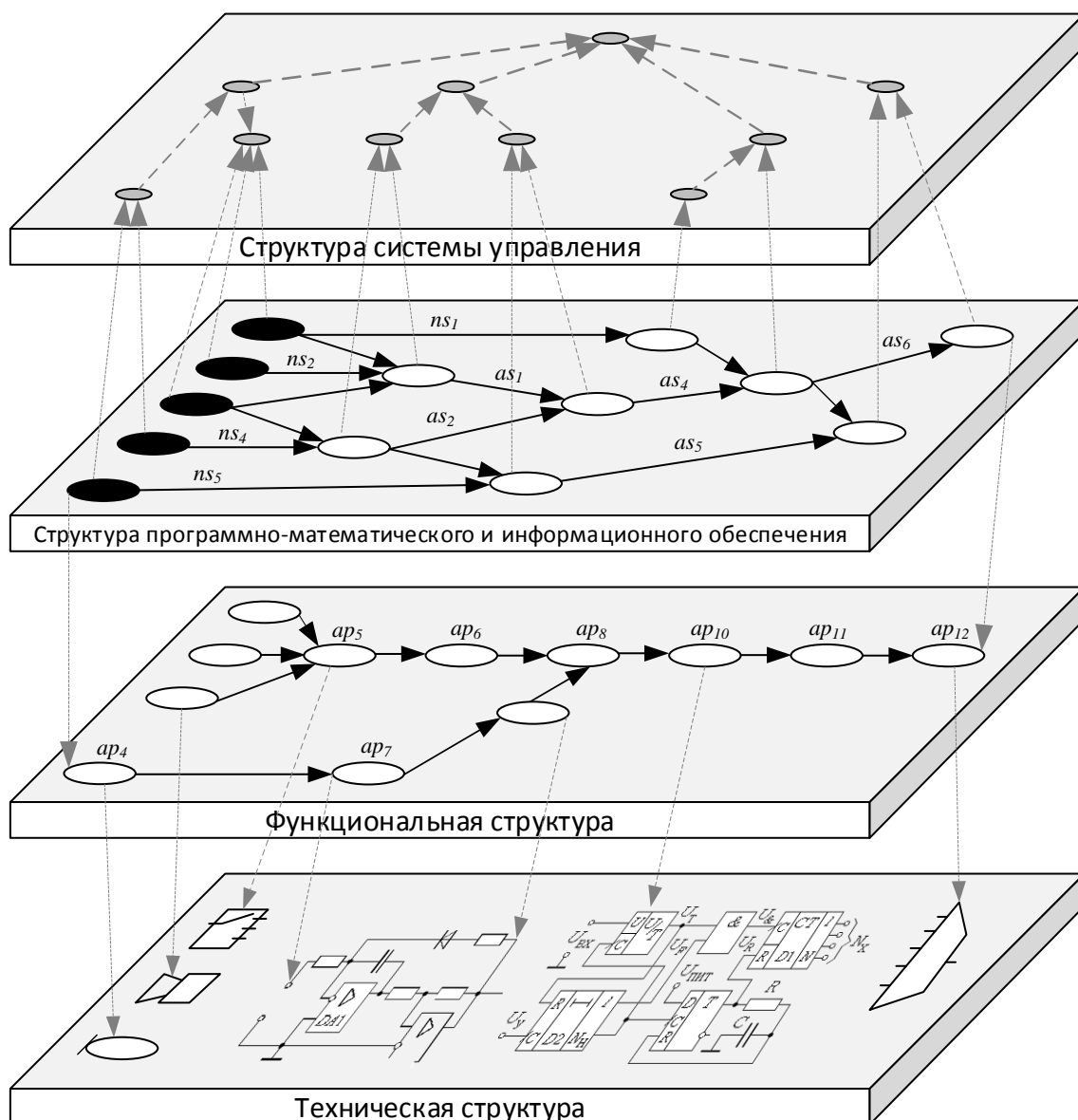


Рисунок 1.22 – Послойное представление многомодальных АТ ПИКС

В ходе инсталляции проверяется возможность ПИКС реализовать вложенные в проект методы резервирования, сравниваются проектные характеристики с данными, полученными в ходе инсталляционных испытаний и измерений.

В ходе эксплуатации структурная реконфигурация ПИКС осуществляется в соответствии с воздействующими факторами:

на начальном этапе основными мешающими факторами являются отказы АПСС и НСЭС в ходе их «приработки», а также ошибки персонала;

на участке длительной эксплуатации реконфигурация ПИКС в основном осуществляется под воздействием внешних факторов среды, а также в плановом порядке при проведении модернизации и/или ремонта сегментов.

на завершающем этапе основными мешающими факторами являются отказы АПСС и НСЭС из-за превышения сроков наработки на отказ.

Последнее свойственно и этапу распада ПИКС, который усугубляется моральным устареванием технологии передачи (протокольной структуры СПД) и элементной базы (техническая структура АПСС).

Вариантом учета возмущающих воздействий внешней и внутренней сред функционирования ПИКС (рис. 1.1) является реализация возможности изменения структуры ПМИО АПСС. Указанная возможность в АТ может быть обеспечена путем реализации структуры технологии управления.

Постулируя повышение удобства коммуникации субъектов ИнфП через ПИКС как революционный шаг в повышении качества информационной структуры, при заданной физической структуре СПД и ограничении приведенных затрат на обработку информации $C_{пр}^{ИНФ} \leq C_{пр}^{ИНФ доп}$ повышение удельной себестоимости средств обработки информации $\zeta^{ИНФ}$ целесообразно достигать за счет максимизации целостности информации (1.18). Более точной "подстройке" параметров СПД к актуальным требованиям пользователей, преобразованным в многомодальных АТ, должен способствовать отказ от традиционных ("грубых") "шагов квантования" производительности трактов СПД в пользу ЕКР. В итоге вклады многомодальных АТ и инвариантной СПД в обеспечении стабильности $\Delta Q^{ТКС} = \Delta V^{ТКС}$ функционирования ИКС может быть увеличен за счет реализации перспективных рычагов взаимной адаптации ФХ.

На метауровне совместное применение СФП и ФСП позволяет сформулировать и реализовать метод синтеза полимодальных инфокоммуникационных систем в условиях отказа от традиционного принципа предоставления услуг связи в пользу многомодального представления пользовательской информации. Таким образом, целью комплексирования СФП и ФСП (и соответственно общей **целью настоящего исследования**) является разработка принципов построения ПИКС и конструктивного метода ее синтеза, учитывающих расширившиеся возможности информационных и сетевых технологий по обеспечению эффективности коммуникативного взаимодействия субъектов ИнфП.

Выделенные выше частные задачи развития теории можно исследовать автономно, однако целесообразнее избрать системный путь (рис. 1.23) – решение *научной проблемы* разработки 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.

Следовательно, **общую проблему исследования** можно сформулировать как *проблему синтеза физической структуры* ПИКС, которая 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 необходимому набору обрабатываемых модальностей с минимальными затратами ресурсов СПД.

Для формального описания проблемы синтеза физической структуры ПИКС введем, наряду с определенными выше, 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;

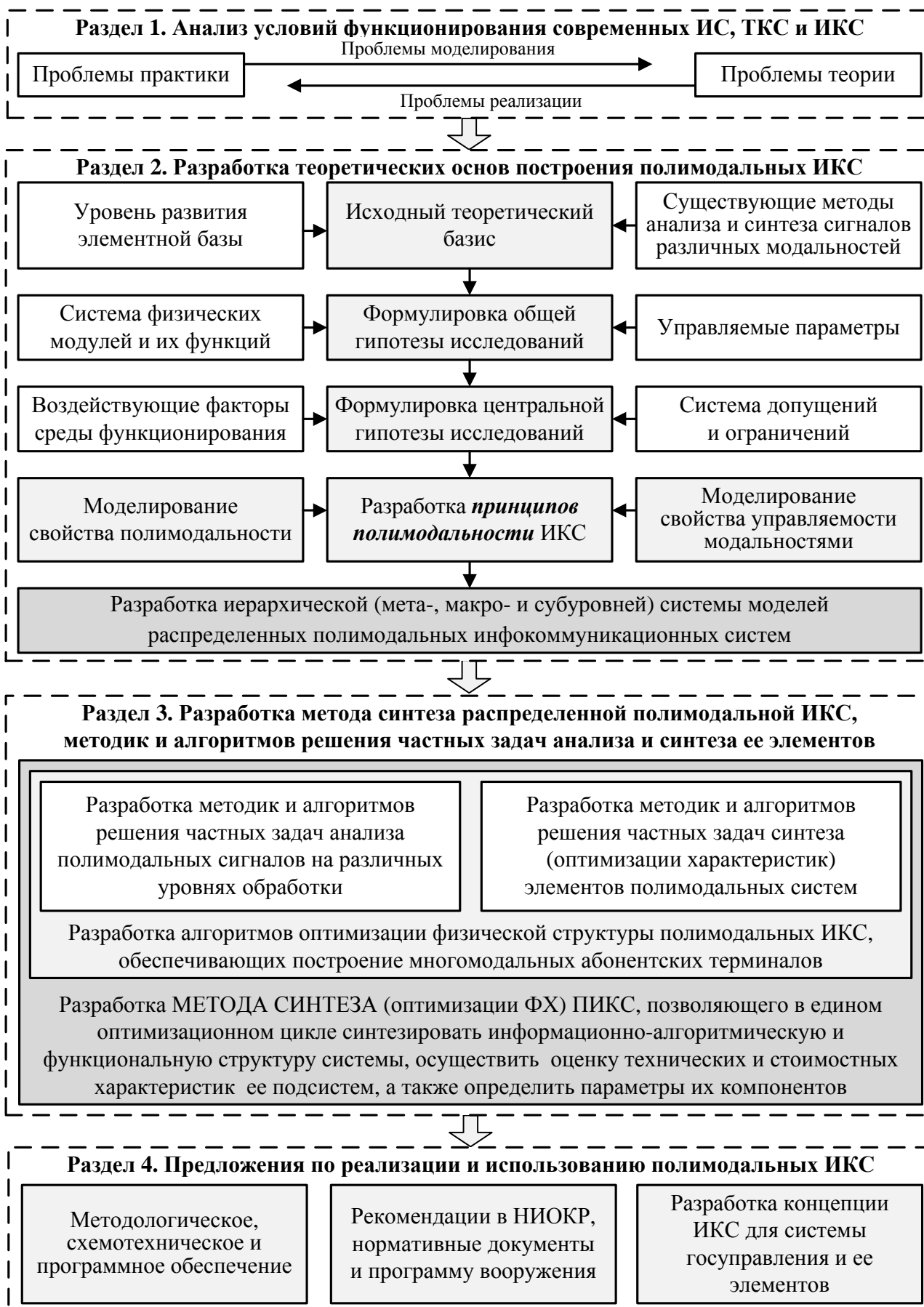


Рисунок 1.23 – Структура исследований

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 $NM = \{IM_1 OM_1, IM_1 OM_2, \dots, IM_1 OM_{N_{OM}}, \dots, IM_1 \dots IM_{N_{IM}} OM_1 \dots OM_{N_{OM}}\}$ вариантов реализации многомодальных интерфейсов АТ, формируемое за счет комбинации входных и выходных модальностей;

множество допустимых системотехнических решений $\Delta_\alpha = \{\alpha = \langle mm, mo, al, ap \rangle | mm \in MM, mo \in MO, al \in AL, ap \in AP\}$, 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 $\{K_{ga}^y\}$, интенсивностью восстановления $\{\mu_a^y\}$;

множество $TS_b = \{ts_b\}, b = \{1, \dots, N_b\}$ сетевых трактов различных (N_b) типов, различающихся пропускной способностью $\{B_b^r\}$, функцией стоимости $\{c_b^r\}$, коэффициентом готовности $\{K_{gb}^r\}$, интенсивностью восстановления $\{\mu_b^r\}$;

множество $TO_s = \{to_s\}, s = \{1, \dots, N_s\}$ обеспечивающих подсистем СПД различных (N_s) типов, в том числе источников синхросигналов, пунктов управле-

ния, 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, так и СПД ПИКС, в качестве которых выделяются техническая $G_{\text{ТЕХН}}$ и функциональная $G_{\text{ФУНКЦ}}$ структуры, структура $G_{\text{ПМИО}}$ ПМИО и структура технологии управления $G_{\text{ТУ}}$ АПСС, топологической $G_{\text{ТОП}}$, потоковой $G_{\text{ПОТОК}}$ и протокольной $G_{\text{ПРОТ}}$ структурам СПД.

Для связи перечисленных множеств друг с другом введем в рассмотрение системный динамический альтернативный мультиграф (ДАМГ) [139] следующего вида:

$$G_\chi^t = \langle X_\chi^t, F_\chi^t, Z_\chi^t \rangle, \quad (1.22)$$

где χ – индекс, характеризующий тип структуры ПИКС, $\chi = \{1,2,3,4,5,6,7\}$ – множество индексов, соответствующих технической и функциональной структурам, структуре ПМИО и технологии управления АПСС, топологической, потоковой и протокольной структурам СПД; $t \in T$ – множество моментов времени; $X_\chi^t = \{x_{\chi l}^t, l \in L_\chi\}$ – множество элементов, входящих в состав структуры G_χ^t (множество вершин ДАМГ) в момент времени t ; $F_\chi^t = \{f_{\langle \chi, l, l' \rangle}^t, l, l' \in L_\chi\}$ – множество дуг ДАМГ типа G_χ^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 ДАМГ.

Кроме того, зададим множество допустимых операций отображения указанных выше ДАМГ друг на друга:

$$M_{\langle \chi, \chi' \rangle}^t : F_\chi^t \rightarrow F_{\chi'}^t, \quad (1.23)$$

а также операции композиции указанных отображений:

$$M_{\langle \chi, \chi' \rangle}^t = M_{\langle \chi, \chi_1 \rangle}^t \circ M_{\langle \chi_1, \chi_2 \rangle}^t \circ \dots \circ M_{\langle \chi'', \chi' \rangle}^t.$$

С учётом вышеизложенного, многоструктурное состояние можно определить как подмножество декартова произведения множеств элементов, на которых строятся соответствующие структуры ПИКС:

$$S_\delta \subseteq X_1^t \times X_2^t \times X_3^t \times X_4^t \times X_5^t \times X_6^t, \quad \delta = 1, \dots, K_\Delta$$

Множество многоструктурных состояний ПИКС запишется в виде:

$$S = \{S_\delta\} = \{S_1, \dots, S_{K_\Delta}\}.$$

Введём также множество допустимых операций отображения многоструктурных состояний ПИКС друг на друга:

$$\Pi_{\langle \delta, \delta' \rangle}^t : S_\delta \rightarrow S_{\delta'}.$$

При этом будем полагать, что каждое многоструктурное состояние ПИКС задаётся в результате операции композиции соответствующих ДАМГ, описывающих каждый тип структуры (см. выражение 1.23).

Тогда для исследуемой проблемы может быть предложено ее следующее *теоретико-множественное описание*: 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

$$J_\theta \left(X_\chi^t, F_\chi^t, Z_\chi^t, M_{\langle \chi, \chi' \rangle}^t, \Pi_{\langle \tilde{\delta}, \tilde{\delta}' \rangle}^t, t \in (t_0, t_f] \right) \rightarrow \underset{\langle U_*^t, S_{\delta_*}^{t_f} \rangle \in \Delta_g}{extr}, \quad (1.24)$$

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

где U^t – управляющие воздействия, позволяющие синтезировать как структуры ПИКС, так и процессы функционирования ее элементов; J_θ – стоимостные, временные, ресурсные показатели, характеризующие качество функционирования ПИКС; Δ_g – множество динамических альтернатив (множество G_χ структур ПИКС, их параметров Z_χ^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.

В качестве показателей J_θ качества функционирования ПИКС на этапах синтеза ее различных структур (1.22) целесообразно использовать (см. п. 1.3.3) удельную себестоимость средств обработки информации $\zeta^{\text{ИНФ}}$ (1.10) (целостность полимодальной информации $\Pi^{\text{ИНФ}}$ (1.18), производительность источника информации $\text{Пр}^{\text{ИНФ}}$ (1.14), быстродействие средств обработки информации (1.13)) и удельную себестоимость СПД $\zeta^{\text{СПД}}$ (1.12). С учетом введенных обозначений и принятой декомпозиции ПИКС очевидно, что указанные показатели качества функционирования ПИКС зависят от множества G_χ структур ПИКС, их параметров Z_χ^t и инфокоммуникационных ресурсов R_χ^t , выделяемых СУС для структуры χ в момент времени t

$$\zeta^{\text{ИНФ}} = F_1 \left\{ R_\chi^t, X_\chi^t, F_\chi^t, Z_\chi^t, M_{\langle \chi, \chi' \rangle}^t, \Pi_{\langle \delta, \tilde{\delta} \rangle}^t \right\} \text{ для } \chi = \{1, 2, 3, 4\}, \quad (1.25)$$

$$\zeta^{\text{СПД}} = F_2 \left\{ R_\chi^t, X_\chi^t, F_\chi^t, Z_\chi^t, M_{\langle \chi, \chi' \rangle}^t, \Pi_{\langle \delta, \tilde{\delta} \rangle}^t \right\} \text{ для } \chi = \{5, 6, 7\}, \quad (1.26)$$

где F_1 – функционал удельной себестоимости средств обработки информации (1.10); F_2 – функционал удельной себестоимости СПД (1.12).

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

Прямая. Имеются сведения об объемах сообщений (необходимом наборе модальностей), которые нужно передать. Требуется определить объем ресурсов СПД, чтобы обеспечить необходимое (максимальное) качество приема переданной информации:

Обратная. Имеются заданные ресурсы СПД. Требуется передать максимальный объем сообщений заданного качества (в том числе с оптимальным выбором модальностей, методов их обработки: объединения/разделения, синхронизации, кодирования).

Отличие поставленных задач синтеза от традиционных заключается в том, что шаг измерения параметров производительности физических модулей опреде-

ляется не в "шагах квантования", обусловленных применением конкретной технологии, а в унифицированной ЕКР. Этим, с одной стороны, обеспечивается инвариантность инструментария к технологии передачи. С другой, естественно, повышается число степеней свободы объекта исследования и повышается размерность соответствующих формализмов. Следовательно, необходима разработка новых подходов, в том числе новых теоретических конструкций, учитывающих необходимость обеспечения взаимодействия процедур обработки модальностей и алгоритмов передачи соответствующих им БД через СПД. Таким образом, на основе структуризации проблем практики и теории сформулирована концепция исследований и произведена формализация общей и основных частных задач исследования в рамках разработки основ теории построения ПИКС.

Выводы по первому разделу

1. Предметно-классификационный анализ роли, места и условий функционирования инфокоммуникационных систем показал, что в условиях явно выраженной тенденции к повышению психологической напряженности и ответственности субъектов ИнфП, в частности должностных лиц органов государственной власти, за принимаемые решения в различных областях жизнедеятельности, уровень обеспечения их деловой коммуникации через технические средства остается на прежнем уровне. Объективным требованием времени является всестороннее исследование процесса взаимодействия пользователей через инфокоммуникационную систему с позиций максимизации эффективности их межличностной коммуникации для поиска новых подходов к формированию глобального информационного пространства.

2. Исследования показали, что необходимость повышения эффективности коммуникативного взаимодействия субъектов ИнфП вызвана возросшей скоростью изменения ситуации и увеличением объемов передаваемой информации; постоянно растущими психологическими нагрузками при принятии управленческих решений, связанными с уменьшением квоты доверия общающихся друг к другу;

трансформацией формально-ролевого общения в деловое, при котором наряду с обменом информацией должны учитываться особенности личности абонента, его настроение, физиологическое и психоэмоциональное состояния.

3. Анализ современных достижений науки и техники в области создания многомодальных абонентских терминалов показал, что снижению или устранению технических барьеров межличностной коммуникации субъектов ИнфП будет способствовать переход от предоставления им традиционных услуг связи к передаче и приему сигналов различных модальностей привилегированных абонентов. 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». Данный подход является новым в предметной области, что потребовало проведения целого ряда исследований для разработки принципиально новых элементов теории полимодальной передачи информации.

4. Исследование проблем теории предметной области показал, что научный уровень методов и средств синтеза и оптимизации характеристик инфокоммуникационных систем последние 5 – 10 лет находится на статистически устойчивом уровне, поскольку в научном сообществе сохраняется такое отношение к услугам связи, что расширение их номенклатуры является единственно верным направлением эволюции информационных инфраструктур. Отказ от традиционных принципов предоставления услуг связи в пользу обмена полимодальными сообщениями потребует разработки новой строгой, но в то же время конструктивной теории построения ИКС, позволяющей с единых методологических позиций оценивать существующее положение дел в предметной области, исследовать предлагаемые новые решения по построению (синтезу) информационной инфраструктуры государственного управления России, а также обосновывать предложения по их оптимизации относительно специфики функционирования органов государственной власти.

5. На основе структуризации выявленных проблем теории и практики, обоснована необходимость комплексирования структурно-функционального и

функционально-структурных подходов при моделировании объекта исследования, произведена формальная постановка общей и частных задач синтеза ПИКС. Сформирован подход к формированию иерархической системы показателей эффективности, которая обеспечивает формирование объективного суждения о достижении ПИКС цели функционирования. При этом использован аппарат внешних и внутренних ФХ взаимодействующих объектов ПИКС, первые из которых отражают степень достижения заданной цели и ограничения внешних условий, а вторые отражают средства достижения данной цели в данных условиях.

6. Изложенное в разделе позволяет сделать вывод, что достижению целей и решению научной проблемы исследований будет способствовать развитие научных основ предметной области, которые целесообразно сформулировать следующим образом:

разработка принципов, приемов и способов построения и применения полимодальных ИКС в условиях отказа от предоставления традиционных услуг связи в пользу применения у субъектов ИнфП мнгомодальных интерфейсов;

систематизация новых (вне принципов предоставления традиционных услуг связи) прикладных задач синтеза информационных инфраструктур для обеспечения применимости существующей формально-математической базы для планирования и проектирования полимодальных ИКС;

освоение новых комплексированных подходов к моделированию, постановкам и решениям задач обработки, передачи, приема и комбинирования сигналов разных модальностей, рассматривающих свойства мнгомодальных абонентских терминалов во взаимосвязи с процессами во взаимодействующих элементах ИКС, параметры передачи соответствующих модальностям блоков данных с физической структурой сети передачи данных;

изыскание путей снижения вычислительной сложности задачи синтеза (оптимизации ФХ) ПИКС и разработка методик решения вновь возникающих задач обеспечения заданного качества обслуживания субъектов ИнфП, различающихся степенью детализации и размерностью моделей, составом системы ограничений и критериями, способов задания стартовой точки оптимизации ФХ.

Раздел 2. ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ ПОСТРОЕНИЯ ПОЛИМОДАЛЬНЫХ ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ

В настоящем разделе на основе исходного теоретического базиса разрабатываются элементы теории построения полимодальных инфокоммуникационных систем. Основными из них являются общая и центральная гипотезы исследования, модели модальностей, принципы полимодальности ИКС (подраздел 2.1). Выбранный ранее путь решения проблем теории привел к разработке иерархической (мета-, макро- и субуровней) системы моделей распределенных ПИКС (подраздел 2.2). Предложены математические модели входных и выходных сигналов ПИКС, сигналов различной модальности и полимодальных услуг (подраздел 2.3), а также теоретико-множественная модель подсистемы кодирования сообщений различных модальностей (подраздел 2.4). Вопросы, рассмотренные в настоящем разделе, нашли отражение в [14-20, 23, 25, 31, 43, 50, 88-91, 133, 138, 228, 232, 233].

2.1. Центральные элементы теории построения полимодальных инфокоммуникационных систем

2.1.1. Общая и центральная гипотезы исследования, основные допущения и ограничения

Развитию научных основ построения ПИКС способствует трансформация существующих эмпирических и теоретических знаний предметной области в новые теоретические обобщения об объекте исследования для достижения сформулированной цели исследований в рамках поставленной научной проблемы.

Теория ПИКС далее понимается как целостная система знаний в области построения и обеспечения функционирования распределенных полимодальных инфокоммуникационных систем, которую характеризуют зависимость одних элементов от других и выводимость содержания теоретических конструкций по оп-

ределенным логико-методологическим правилам из исходного базиса утверждений и понятий системного анализа, теорий макросистем, сетей, управления, надежности, искусственного интеллекта и интеллектуального анализа данных. Данная теория позиционируется как форма достоверного научного знания о взаимосвязанной совокупности АТ и СПД и иерархически вложенных в них элементов, образующих объект исследования – ПИКС.

Предметом теории являются законы и закономерности, определяющие принципы, методы и приемы построения и обеспечения функционирования ИКС на основе многомодальных АТ и оптических СПД, инвариантных к технологии передачи. Данная теория предназначена для выполнения объяснительной, прогностической (предсказательной) и предписывающей (нормативной) функций.

Для разработки новых и операционализации существующих теоретических конструкций в соответствии с разработанной выше концепцией исследований (рис. 1.23) был сформирован *исходный теоретический базис* исследования. Его основными элементами являются гносеологические (мироздания и сложных систем), фундаментальные (макросистем, информации, связи, управления, надежности) и прикладные теории. Последние условно разделены по следующим четырем группам.

I. Система действующих РД, понятий и категорий, используемых в предметной области, в том числе международные стандарты, ГОСТ России, ведомственные РД, и результаты фундаментальных исследований, основными из которых являются:

теория макросистем (Ю. С. Попков и др.) [164];

теория анализа и синтеза структур крупномасштабных систем (А.Д. Цвиркун) [205];

теория эффективности (Г. Б. Петухов) [161];

теория надежности систем (А.М. Половко, И.А. Ушаков);

теория системной безопасности (Н.А. Северцев и др.);

теория оптической связи (Р. Гальярди, П. Карп и др.) [70];

теория телетрафика мультисервисных сетей (С. Н. Степанов) [188];

- теория графов (У. Татт, Н. Кристофидес, Т. Саати) [12, 190];
- теория информации (К. Шеннон, И. Чисар, И. М. Коган) [110, 208];
- теория распознавания образов (Р. Гонсалес, Р. Вудс, Р. Дуда, Я.А. Фурман и др.) [72, 73];
- теория речеобразования (В.Г. Михайлов, Р. К. Потапова, М. А. Сапожков, В. Н. Сорокин и др.) [123, 183 и др.];
- методы оптимизации систем (Х. Таха и др.) [191];
- методы построения информационных систем поддержки принятия управленческих решений (Н.И. Ильин);
- методы анализа риска и принятия решений при неполной информации (Л.В. Уткин и др.);
- методы анализа структурно-функциональной надежности информационных систем (И.Б. Шубинский и др.);
- методы адаптивного планирования и ресурсно-временной оптимизации сложных систем (В.Г. Анисимов и др.);
- методологические основы информатизации (Р.М. Юсупов, В.П. Заболотский) [216];
- концепция проактивного управления структурной динамикой сложных объектов (Б.В. Соколов, М.Ю. Охтилев, А.Н. Павлов) [139].
- II. Известные закономерности, проявляющиеся при построении и обеспечении функционирования ТКС, в частности транспортных сетей, в том числе:
- алгоритмические модели цифровой программируемой технологии инфокоммуникационных систем (Александров В.В., Кулешов С.В.) [3];
- синтез информационно-телекоммуникационных сетей (А.А. Зацаринный, А.В. Царегородцев) [82-86, 205];
- способы, приемы и правила обеспечения эффективного функционирования цифровых ТКС (И. Бакланов, П. Гровер и др.) [7, 8];
- теоретические основы и метод построения иерархических пакетных ТКС регулярной структуры (В. В. Лохмотко и др.) [117];

закономерности построения синхронных и асинхронных транспортных сетей (Н. Н. Слепов, А. Меккель и др.) [121];

совместная оптимизация потоков и пропускных способностей сетей (Л. Клейнрок, Г. П. Захаров и др.) [81, 109 и др.].

II. Известные закономерности, проявляющиеся при построении и исследовании многомодальных интерфейсов, в том числе:

методологические основы разработки интерактивных многомодальных приложений и конфигурирования программно-аппаратных ресурсов для организации естественного взаимодействия пользователей в интеллектуальном пространстве (А.Л. Ронжин и др.) [172];

синергетика, когнитивное моделирование (С.П. Курдюмов, Г.Г. Малинецкий, В.В. Кульба, Д.А. Новиков);

методы многомодального анализа биометрических показателей для идентификации личности и состояния человека (В. И. Галунов, А. В. Аграновский, А. А. Харламов, Р. В. Мещеряков и др.);

закономерности построения многомодальных (мультимодальных) интерфейсов (С. Л. Овиат) [267];

метод объединения аудио- и видеоинформации в процессе многомодального распознавания речи (А. А. Карпов) [97].

III. Факты и гипотезы в теории и практике построения и обеспечения функционирования СПД, их подсистем и компонентов, а также средств и систем обработки (в том числе интеллектуальной) информации.

IV. Опыт, в том числе зарубежный, построения и эксплуатации ИКС, ОТС, систем на основе многомодальных интерфейсов.

Терминологический базис разрабатываемых теоретических основ составляют понятия и соответствующие им определения, как уже примененные в разделе 1, так и вводимые далее по мере использования при разработке представленных ниже теоретических конструкций. Наряду с предписанными РД в предметной области и/или устоявшимися среди специалистов терминами, в работе употребляются

новые понятия, полученные в результате систематизации и обобщения актуальных закономерностей, наблюдаемых в ПИКС.

Для однозначности восприятия ниже подробнее рассматривается понятие полимодальности ИКС. Здесь и далее свойство *полимодальности инфокоммуникационной системы* понимается как возможность обработки сигналов различной модальности ее абонентскими терминалами и передачи полимодальной информации ее через сеть передачи данных с заданным качеством.

Теория ПИКС разрабатывалась в рамках *гипотетико-дедуктивного подхода* [220]. Суть его состоит в выдвижении ряда гипотез о причинах изучаемых явлений, операционализации теоретических конструкций и выведении из полученного теоретического базиса комплекса следствий, необходимых для решения актуальных задач в предметной области. Общей задаче настоящего исследования (п. 1.4) соответствует выдвижение *общей гипотезы исследования* в следующей формулировке.

В изменяющихся условиях функционирования метасистемы при одних и тех же требованиях к качеству предоставляемой информации и затратах материальных ресурсов полимодальная ИКС будет иметь большую удельную себестоимость, чем ИКС, ориентированные на предоставления комплекса традиционных услуг связи и информатизации.

Применение выдвинутой гипотезы подразумевает представление и исследование ИКС в виде совокупности двух взаимосвязанных макрообъектов (п. 1.1): ИКС одного из типов и кооперативной среды. Отсюда основной целью первого макрообъекта является обеспечение максимальной стабильности функционирования второго макрообъекта при изменяющихся требованиях к качеству обслуживания субъектов ИнфП.

Единый редуцированный облик ПИКС (п. 1.3) рассматривается в виде совокупности следующих сложных физических модулей: СПД и АТ.

Функции СПД остаются традиционными – перенос информации в виде потока блока данных между АТ. В составе СПД выделяются *линейные* (оптические кабели связи и транспондеры) и *узловые* (интегрированные АПСС конечных уз-

лов транспортной сети) физические модули. АТ 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 пользователя с учетом его требований к номенклатуре и качеству предоставляемых услуг.

Принятая декомпозиция ПИКС подразумевает использование следующей системы *основных допущений* настоящих исследований [67, 109].

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

2. Разработка *специализированных средств отображения* абонентских терминалов для субъектов ИнфП выходит за рамки настоящего исследования, ориентированного на существующие многомодальные АТ [96-102, 173-175] и применяемые в настоящее время 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 типоминалов допустимых к применению АПСС и направляющих систем телекоммуникаций (НСТ).

4. Характер взаимодействия СПД со СФ определяется многими факторами (*энергетическими, информационными и динамическими*), в том числе неизвестными науке до настоящего времени. Принятым в предметной области подходом к редукции этих влияний [7, 136]. Далее используется допущение об идентифицируемости воздействия соответствующих дестабилизирующих факторов, о чем свидетельствуют многочисленные эмпирические данные и теоретические обобщения, полученные в ходе применения соответствующих АПСС [8, 80, 165].

Представление ПИКС в виде двух типов макромодулей (АТ и СПД) в условиях идентифицируемости изменений и перечисленных выше допущений соответствует переходу от общей гипотезы к более простой – *центральной гипотезе исследования* (ЦГИ).

В пределах контролируемых информационных и стоимостных ограничений при заданной физической структуре сети передачи данных полимодальная ИКС в режиме реального времени будет обеспечивать большую целостность и своевременность информации, чем ИКС, ориентированные на предоставление традиционных услуг связи и информатизации.

Переход в ЦГИ от макрообъекта "ПИКС" к его плоскости услуг вызван необходимостью обеспечения проверяемости общей гипотезы [68, 186] и может быть интерпретирован следующим образом. Пусть свойства и режимы функционирования СПД, составляющей основу ИКС каждого из типов, будут полностью идентичными. Тогда их отличия в обеспечении эффективности коммуникативного взаимодействия будут определяться только различиями в ФХ плоскости услуг, а предлагаемый класс систем (ПИКС), отличается от существующего только способом представления информации, передаваемой и получаемой абонентами. Следовательно, эффективней по критерию превосходства будет та ИКС, у которой при равных затратах на СПД и инцидентные ей АТ, достигается большее значение целостности информации.

Принципиальная проверяемость центральной гипотезы в такой формулировке и вытекающих из нее частных гипотез исследования, рассматриваемых далее, определяется возможностью сравнения решений основных задач синтеза ПИКС (п. 1.4) для разных физических структур СПД и применяемых сетевых технологий.

При проверке состоятельности выдвигаемых гипотез наряду с принятыми ранее допущениями используются также некоторые ограничения, основными из которых являются следующие.

1. Подразумевается возможность применения в ПИКС только тех компонентов (кабелей связи, мультиплексоров и демультимплексоров, усилителей (в том числе оптических), коммутаторов и других электронных модулей и аппаратных средств), которые либо уже используются в действующих ИКС, либо прошли полные лабораторные испытания [87].

2. В ходе разработки теоретических основ (разделы 2 и 3) считается, что в АПСС и соответствующем оборудовании СУС реализованы алгоритмы [136] согласования режимов (*динамических, энергетических и информационных*) работы всех подсистем ПИКС, соответствующие программные модули установлены в средства связи, управления и контроля.

2.1.2. Информационные аспекты полимодальности

Функционирование любой ИКС существенным образом связано с получением и переработкой информации, поскольку без нее невозможно принять необходимое решение относительно реализации конкретной услуги, а следовательно, осуществить требуемое действие (передача информации собеседнику), являющееся конечной целью функционирования такого рода систем. И если традиционные для телекоммуникационных систем задачи повышения эффективности использования каналов связи и увеличения скорости и качества передачи сообщений по ним решаются с использованием *теории информации* [208], то вновь появляющиеся задачи, связанные с полимодальным представлением и обработкой информации, становятся предметом рассмотрения *прикладной теории информации* [110]. В ее аппарате находит адекватное выражение (информационный аспект) эффективность ПИКС (п. 1.3.3).

Предпосылки для применения аппарата теории информации к синтезу (проектированию) ПИКС обусловлены тем, что в ряде случаев ее работу можно представить в понятиях концепции выбора. Эта концепция отражает, в частности, работу системы проектирования. Действительно, совокупность значений множества параметров, описывающих состояние ПИКС, представляется совокупностью точек (П, Б, Ц), занимающей в многомерном пространстве параметров объем $V^{\text{ПИКС}}$ (рис. 1.20, а). Изменение параметров системы будет в этом случае выражаться перемещением отображающих точек внутри данного гипотетического объема. Задача системы проектирования сводится в конечном счете к ограничению многооб-

разия возможных значений параметров до пределов, отображаемых некоторым частным объемом $V_*^{\text{ПИКС}}$, лежащим внутри объема $V^{\text{ПИКС}}$.

Минимально необходимое количество информации I_0 , которое должно быть получено и переработано системой для выбора частного объема $V_*^{\text{ПИКС}}$ из всего априорного объема $V^{\text{ПИКС}}$, равно энтропии снятия соответствующей неопределенности (при равновероятном распределении частных объемов):

$$I_0 = \log_2(V^{\text{ПИКС}}/V_*^{\text{ПИКС}}).$$

Для выполнения возложенных на систему задач необходимо, чтобы количество информации было переработано за время, не превышающее некоторую величину T . Минимально необходимая пропускная способность системы (скорость получения и переработки информации) должна составлять

$$C_0 = \frac{I_0}{T} = \frac{1}{T} \log_2(V^{\text{ПИКС}}/V_*^{\text{ПИКС}}).$$

Работоспособная система должна иметь избыточность

$$\delta = \frac{(C - C_0)}{C_0} = \frac{CT}{\log_2(V^{\text{ПИКС}}/V_*^{\text{ПИКС}})} - 1 = \frac{I_{\max}}{I_0} - 1, \quad (2.1)$$

где I_{\max} – максимально возможное количество информации, которое система асимптотически может переработать за время T .

Выражение (2.1) включает в себя такие фундаментальные для работы систем показатели, как *сложность* решаемой задачи (в известной мере выражаемая величиной априорного объема $V^{\text{ПИКС}}$), *качество функционирования ПИКС* (объем $V_*^{\text{ПИКС}}$) и *быстродействие* (время T). Таким образом, избыточность является *информационным выражением эффективности ПИКС* и позволяет исследовать такие системы, опираясь на их информационный аспект.

Учитывая принятую декомпозицию (п. 1.3.3), следует принять, что функции по получению и переработке информации в ПИКС возложены на АТ, а избыточность (2.1) определять на основе объемов $V^{\text{ИНФ}}$ и $V_*^{\text{ИНФ}}$. Для повышения информационного критерия эффективности возможны два пути: использование взаимосвя-

зей подсистем АТ ПИКС (так называемое комплексирование) и рациональное построение АТ.

В основе первого направления лежит то, что подсистемы комплекса, взаимодействуя между собой и с данной системой (АТ), получают и могут выдавать информацию, являющуюся для последней априорной, т.е. уменьшающую энтропию задачи, которая должна быть ею решена. Так последовательное уменьшение априорной неопределенности наблюдается (рис. 2.1):

при переходе от множества $NS = \{ns_a\}$ естественных сигналов к множеству $AS = \{as_q\}$ искусственных сигналов, связанном с процедурами ввода (ограничение динамического и частотного диапазона сигналов, их дискретизация и квантование) и предварительной обработки сигналов (локализация, фильтрация, шумоподавление);

при разделении искусственных сигналов $AS = \{as_q\}$ на заданное множество входных модальностей (сигналов модальностей) $IM = \{IM_1, IM_2, \dots, IM_{N_{IM}}\}$;

при выделении из входных модальностей IM их параметров $F = \{f_1, f_2, \dots, f_{N_p}\}$;

при реализации полимодальных услуг на основе объединения заданных (для каждой конкретной услуги) параметров модальностей;

при кодировании результатов реализации полимодальной услуги.

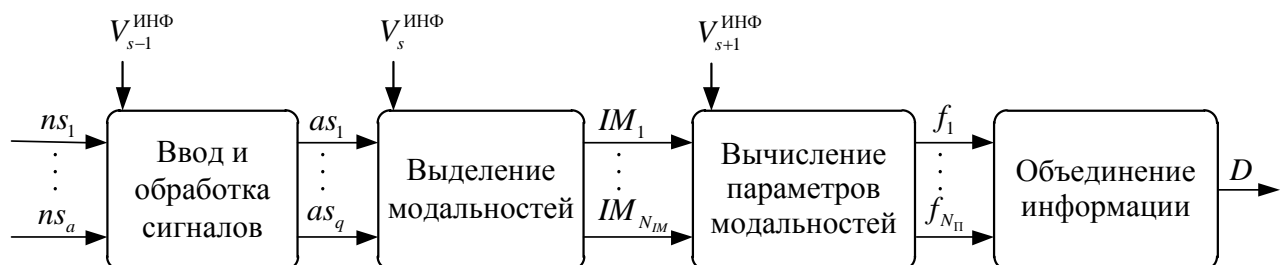


Рисунок 2.1 – Использование комплексирования при построении АТ ПИКС

На каждом этапе уменьшается неопределенность выбора объема $V_s^{\text{ИНФ}}$ благодаря приблизительному указанию части объема $V_{s-1}^{\text{ИНФ}}$, в пределах которого

ожидаются значения параметров подсистемы. Получающееся при этом уменьшение величины C_0 до значения $C_{0\Delta} < C_0$ дает дополнительную избыточность C_Δ . Дальнейшее уменьшение необходимой пропускной способности C_0 АТ возможно при их многоканальном построении.

С точки зрения переработки информации в отдельных каналах коммуникации многомодальных интерфейсов такое рациональное построение обеспечивается разделением сигналов $AS = \{as_q\}$ на модальности (рис. 2.2), а последних – на отдельные параметры F .

Действительно, если для нормальной работы системы необходимо получение информации об N_Π ее параметрах, то общее количество информации, подлежащее переработке во всех N_Π информативных каналах, должно быть не меньше совместной энтропии всех этих параметров.

Поскольку эти параметры относятся к одному и тому же физическому объекту (модальности), сигналы, несущие информацию о параметрах, в большей или меньшей степени коррелированы между собой. Поэтому совместная энтропия H_0 сигналов, несущих информацию о совокупности параметров, меньше суммы энтропий этих сигналов H_Σ .

Отсюда и минимально необходимая пропускная способность системы $C_0 = I_0/T = H_0/T$ будет меньше, чем $C_\Sigma = I_\Sigma/T$.

Разница между H_0 и H_Σ обусловлена взаимно корреляционными связями между различными параметрами, определяющими работу многомодального АТ. Минимально необходимая величина пропускной способности N_Π -канальной системы [110]:

$$C_{0N_\Pi} = C_\Sigma + C_\Delta,$$

где величина

$$C_\Delta = \frac{1}{2T} \log_2 |r_C| \quad (C_\Delta < 0) \quad (2.2)$$

представляет собой то уменьшение необходимой пропускной способности АТ, какое дает его рациональное построение, учитывающее статистику ансамбля сигналов, по сравнению с многоканальной системой, построенной без учета этой статистики.

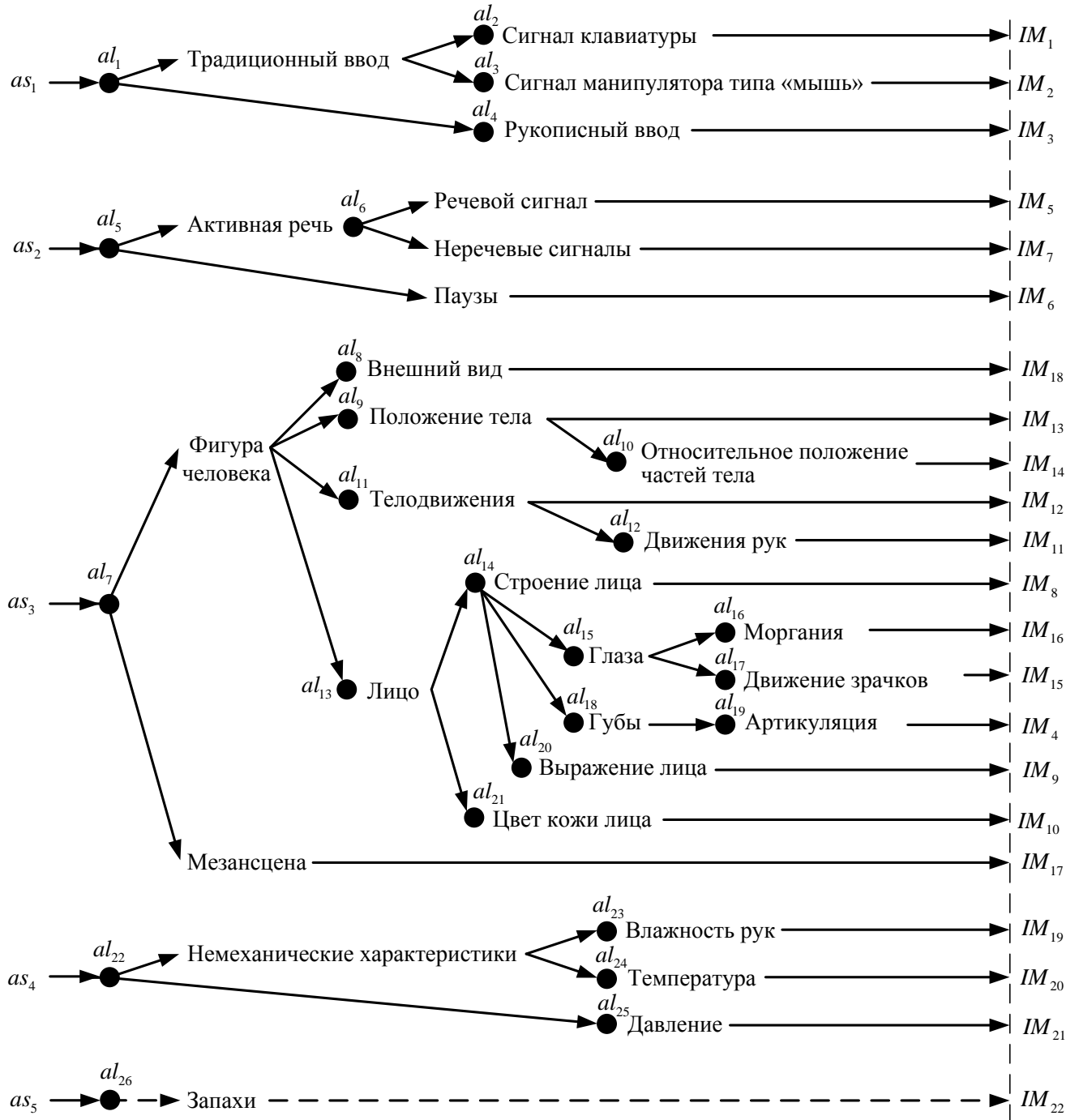


Рисунок 2.2. Графы модальностей различных каналов коммуникации:

$\{al_1, \dots, al_{26}\}$ – подмножество алгоритмов выделения модальностей

Уменьшение необходимой пропускной способности C_{0m} , т.е. увеличение C_{Δ} , определяется значением корреляционного определителя сигналов $|r_c|$. Следовательно, анализ корреляционной структуры многомодальных интерфейсов сводится к анализу этого определителя и к определению условий, при которых его величина будет наименьшей. Элементами определителей корреляционных матриц являются взаимно корреляционные моменты между всеми источниками (сигналов AS , модальностей IM или их параметров F), совокупность которых заложена в основу решения задачи (задач) ПИКС.

Рассмотрим два независимых дискретных источника с заданными ансамблями сообщений в виде случайных величин A_1 и A_2 , каждая из которых принимает значения из ансамблей $\{A_{11}, A_{12}, \dots, A_{1i}, \dots, A_{1N}\}$ и $\{A_{21}, A_{22}, \dots, A_{2i}, \dots, A_{2N}\}$ с вероятностями $p(A_1)$ и $p(A_2)$ соответственно (N – число возможных сообщений на выходе источников). С учетом принятого допущения (п. 2.1.1) случайные величины A_1 и A_2 оцениваются на конечных интервалах, поэтому определим для них некоторый k -й интервал $(k + N_{\text{инт}} - 1)$, на котором индексы i, j принимают $N_{\text{инт}}$ значений: $k, k + 1, \dots, k + N_{\text{инт}} - 1$.

По аналогии с [195] под выборочным корреляционным моментом независимых дискретных случайных величин A_1 и A_2 на интервале $(k, k + N_{\text{инт}} - 1)$ или k -м интервальным коэффициентом корреляции будем понимать значение

$$r_{CkA_1A_2} = \frac{(\bar{m}_{kA_1}^* - \bar{m}_{A_1})(\bar{m}_{kA_2}^* - \bar{m}_{A_2})}{\sigma_{kA_1}^* \sigma_{kA_2}^*}, \quad (2.3)$$

где $\bar{m}_{A_1}, \bar{m}_{A_2}$ – математическое ожидание величин A_1 и A_2 соответственно; $\bar{m}_{kA_1}^*, \bar{m}_{kA_2}^*$ и $\sigma_{kA_1}^*, \sigma_{kA_2}^*$ – выборочные средние и выборочные средние квадратические отклонения случайных величин A_1 и A_2 на интервале $(k, k + N_{\text{инт}} - 1)$ соответственно.

Анализ выражения (2.3) показывает, что если для каждой случайной величины ее выборочное среднее на заданном интервале не совпадает с ее математическим ожиданием, то коэффициент корреляции этих случайных величин на дан-

ном интервале отличен от нуля. Следовательно, на относительно небольших множествах значений, которые могут принимать случайные независимые величины A_1 и A_2 , между ними могут возникать корреляционные зависимости. Аналогично, на ограниченном множестве сообщений, генерируемых независимыми источниками, между ними могут возникать корреляционные зависимости.

В [195] экспериментальным путем (при допущении, что появление каждого сообщения источника равновероятно с последующим усреднением результатов) были получены графические зависимости усредненного выборочного коэффициента корреляции для двух независимых источников видео- и речевой информации от параметра $N_{\text{ИНТ}}$ (рис. 2.3).

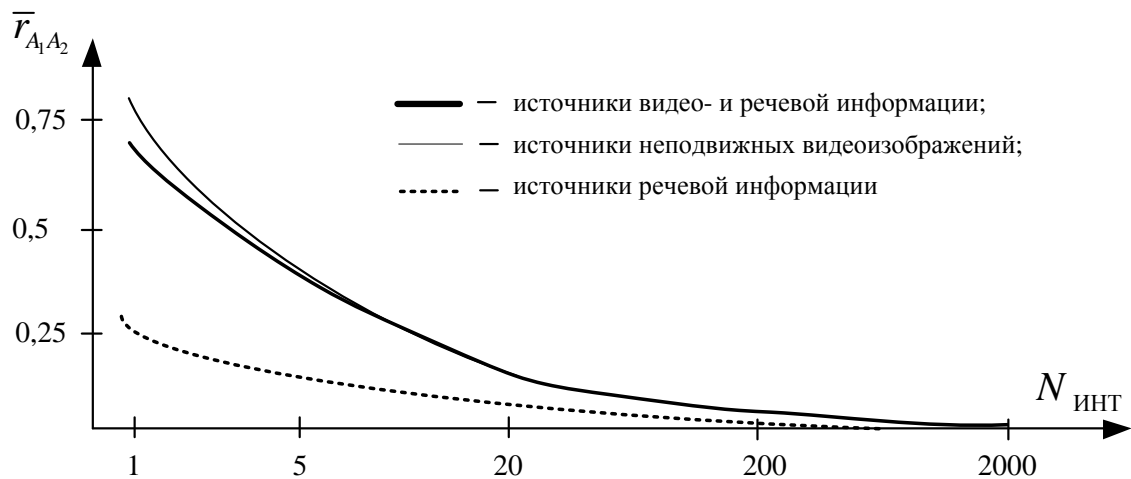


Рис. 2.3. Зависимости усредненного выборочного корреляционного момента для двух независимых источников от параметра $N_{\text{ИНТ}}$

При этом в качестве объектов корреляционного анализа использовались источники речевых сообщений as_2 ($\vec{m}_{A_1} = \vec{m}_{A_2} = \vec{0}$) и неподвижные типовые изображения as_3 ($\vec{m}_{A_1} = \vec{m}_{A_2} = 128 \cdot \vec{1}$) в формате *RGB*.

Анализ представленных зависимостей (рис. 2.3) показывает, что с увеличением $N_{\text{ИНТ}}$ корреляционный момент источников уменьшается экспоненциально и при $N_{\text{ИНТ}} = N$ взаимная корреляция между сообщениями источников практически

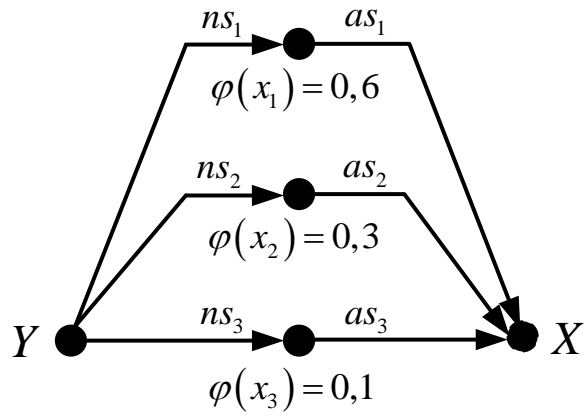
отсутствует (величина $\bar{r}_{kA_1A_2}$ практически равна нулю). При этом максимальная скорость спада кривых соответствует источникам с максимальной избыточностью, в рассматриваемом случае – источникам видеоизображений.

При переходе от искусственных сигналов AS к их модальностям IM наблюдается дальнейшее уменьшение корреляционных моментов источников, а, следовательно, и необходимой пропускной способности C_0 АТ.

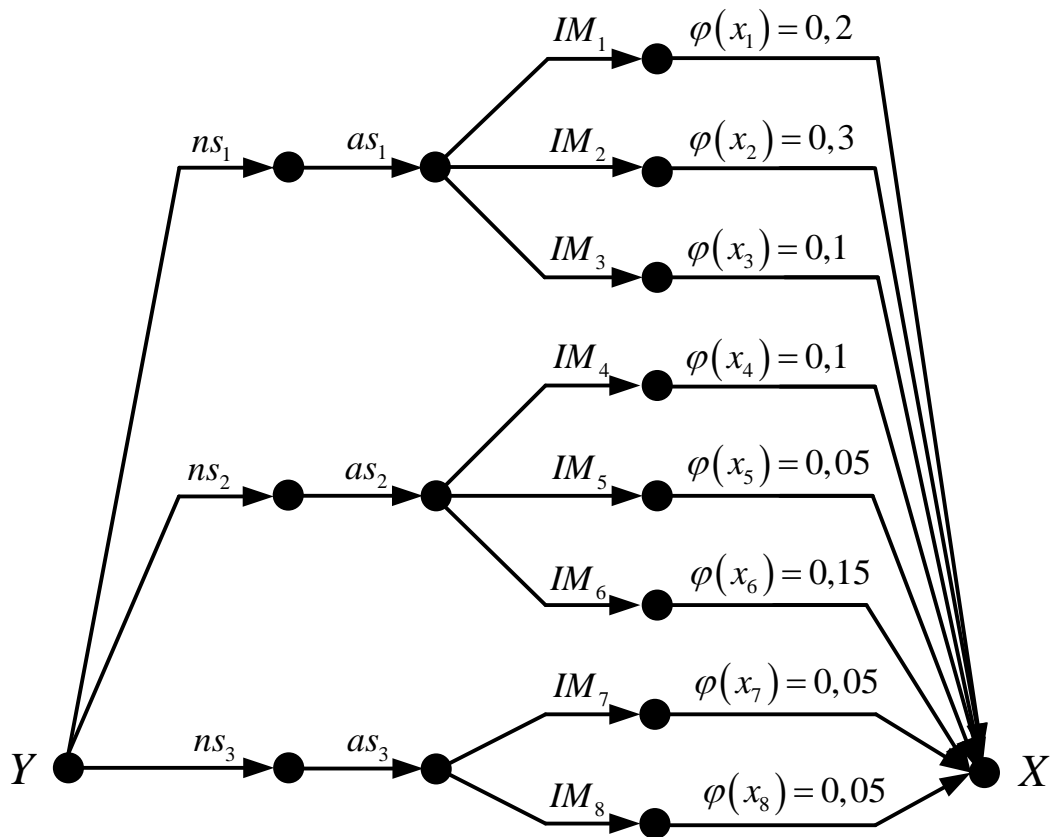
Таким образом, полимодальное представление и обработка входной информации позволяет повысить информационный критерий эффективности АТ ПИКС. Реализуемая при этом декорреляция входных сигналов неизбежно приводит к уменьшению выигрыша относительно суммарной скорости передачи при совместном кодировании источников, между которыми имеются корреляционные взаимосвязи [208]. Следовательно, в многомодальных АТ целесообразно использовать раздельное кодирование параметров отдельных модальностей и/или результатов реализации полимодальных услуг.

Необходимой предпосылкой получения данных результатов является переработка некоторого минимально необходимого количества информации, получаемой от абонента. Одной из простейших моделей может служить та (рис. 2.4), в которой цель X (реализация услуги X) можно достигнуть различными путями x_j ($1 \leq j \leq n$), общее количество n которых известно; при этом вероятности достижения цели по различным путям $\varphi(x_j)$ априори неизвестны.

Для того чтобы задачу решить наиболее целесообразным способом, получаемая информация должна позволить определить значения $\varphi(x_j)$ на путях x_j и выбрать тот путь (пути), на котором величина $\varphi(x_j)$ наибольшая. При этом ценность информации I_j от источника Y тем выше, чем больше вероятность достижения цели при ее использовании. Следует иметь в виду, что и без получения информации вероятность достижения цели $\Phi(X)$ не равна нулю, ибо и при случайном (произвольном) выборе пути x_j цель X может быть достигнута.



а)



б)

Рисунок 2.4. Пути достижения цели функционирования в существующих (а) и полимодальных (б) ИКС

Исходя из сказанного, в качестве *меры ценности информации* принимается величина разности Z_i между вероятностями достижения цели при отсутствии информации $\Phi(X)$ и при получении i -го сообщения:

$$Z_i = \Phi_i(X) - \Phi(X). \quad (2.4)$$

Величина Z_i в принципе может быть отрицательной, что отражает получение ложной информации (дезинформации), в дальнейшем будем полагать, что получаемая информация истинна, и тогда всегда $Z_i > 0$.

Вероятность достижения цели при случайном выборе одного из путей x_j

$$\Phi(X) = \sum_{j=1}^n P_j \varphi(x_j),$$

где P_j вероятность выбора j -го пути x_j .

До получения информации эта величина имеет некоторое априорное распределение. Естественно допустить, что при полном отсутствии априорной информации выбор различных путей равновероятен, тогда

$$P_j = \frac{1}{n} = const; \quad \Phi(X) = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \varphi(x_j),$$

т.е. вероятность достижения цели при отсутствии информации равна среднему значению $\varphi(x_j)$ по всем n путям.

Получение информации I_{ij} от i -го сообщения о j -м пути меняет распределение вероятностей P_j . Это апостериорное распределение в значительной мере определяется субъективными факторами, появляющимися в решении, принимаемом человеком или закладываемом им в поведение технической системы. Поэтому полная формализация поведения системы при получении информации затруднительна. Тем не менее в ряде типичных случаев можно констатировать некоторые общие тенденции изменения распределения P_j .

I. Сообщение I_{ij} дает информацию о значении $\varphi(x_j)$ только на одном j -м пути и не содержит никакой информации об остальных $(n-1)$ путях; следовательно, выбор любого из этих $(n-1)$ путей равновероятен. Тогда

$$\Phi_i^1(X) = P_j \varphi(x_j) + \frac{1-P_j}{n-1} \left[\sum_{k=1}^{j-1} \varphi(x_k) + \sum_{k=j+1}^n \varphi(x_k) \right].$$

Естественно считать, что в этом случае выбор пути x_j тем более вероятен, чем больше вероятность $\varphi(x_j)$, с которой можно ожидать достижения цели X , судя по информации, полученной от источника y_i . Зависимость P_j от $\varphi(x_j)$ представляет собой неубывающую функцию, лежащую в пределах $[0,1]$. Если для ее аппроксимации принять удобную для расчетов функцию

$$P_j = [\varphi(x_j)]^r \quad (r > 0), \quad (2.5)$$

то характеристика ценности i -го сообщения о j -м пути получается в виде

$$Z_{ij}^I = [\varphi(x_j)]^{r+1} + \frac{1 - [\varphi(x_j)]^r}{n-1} \left[\sum_{k=1}^{j-1} \varphi(x_k) + \sum_{k=j+1}^n \varphi(x_k) \right] - \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \varphi(x_k). \quad (2.6)$$

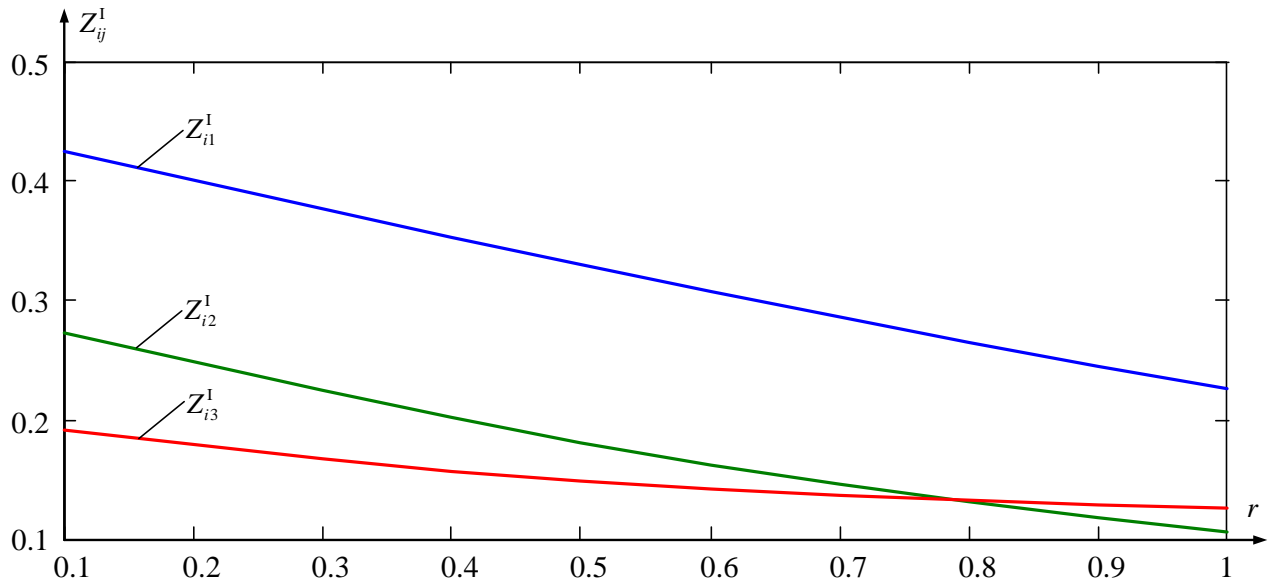
Если даже на j -м пути $\varphi(x_j) = 0$, то и в этом случае $Z_i > 0$, поскольку вероятность выбора этого пути $P_j = 0$, и, следовательно, этот заведомо бесперспективный путь из дальнейшего поведения системы исключается.

Случай (рис. 2.5, а) характерен для существующих «одноmodalных» ИКС, в которых при реализации услуги обрабатываются и передаются сообщения одного вида (аудио, видео или данные).

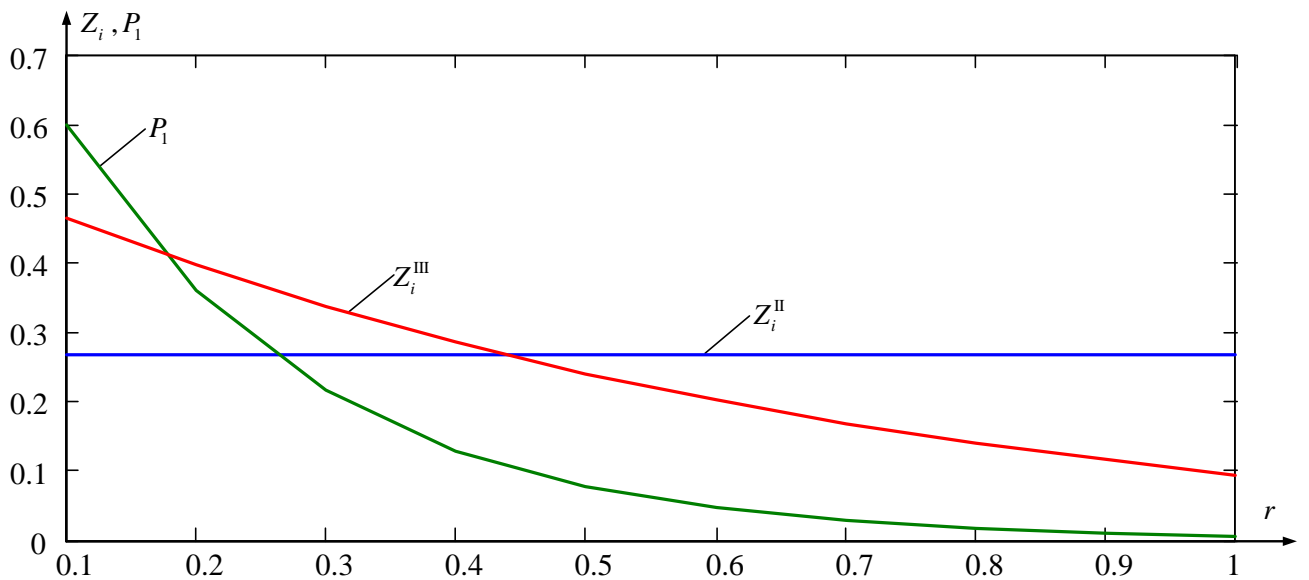
II. Сообщение I_i дает информацию о значениях $\varphi(x_j)$ на всех n путях. В этом случае необходимо выбрать тот путь, для которого величина $\varphi(x_j)$ максимальна, тогда $\Phi_i^{\text{II}}(X) = \varphi_{\max}(x_j)$. Характеристика ценности информации при этом будет

$$Z_i^{\text{II}}(X) = \varphi_{\max}(x_j) - \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \varphi(x_k). \quad (2.7)$$

Случай (рис. 2.5, б) характерен для мультисервисных ИКС, в которых осуществляется обработка и передача гетерогенного потока данных, однако отсутствуют механизмы, позволяющие однозначно определить значения $\varphi(x_j)$, даже при небольшом числе путей.



а)



б)

Рисунок 2.5. Ценность информации при ее обработке одномодальными (а) и многомодальными АТ (б)

III. Сообщение I_i дает информацию о значениях $\varphi(x_j)$ на M ($M < n$) из n путей и не содержит информации об остальных $(n - M)$ путях; выбор любого из этих $(n - M)$ путей равновероятен. Тогда

$$\Phi_i^{\text{III}}(X) = \sum_{j=1}^M P_j \varphi(x_j) + \frac{1}{n-M} \sum_{k=M+1}^n P_k \varphi(x_k).$$

С учетом (2.5) характеристика ценности i -го сообщения о j -м пути получается в виде

$$Z_i^{\text{III}} = \sum_{j=1}^M [\varphi(x_j)]^{r+1} + \frac{1}{n-M} \sum_{k=M+1}^n [\varphi(x_k)]^{r+1} - \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \varphi(x_k). \quad (2.8)$$

Данный случай (рис. 2.5, б) характерен для ПИКС, в которых осуществляется обработка и передача сигналов отдельных модальностей (их параметров). При этом, учитывая наличие разработанных алгоритмов $\{al_1, \dots, al_{26}\}$ выделения отдельных модальностей, существуют возможность и отдельные результаты, позволяющие однозначно определить значения $\varphi(x_j)$.

Анализ зависимости вероятности достижения цели X от числа «используемых» абонентом модальностей N_{IM} (рис. 2.6) позволяет сделать вывод о том, что при заданной вероятности выбора P_j ($r=0,1$) канала коммуникации (j -го пути (путей)) вероятность $\Phi_i(X)$ достижения цели функционирования ПИКС возрастает с увеличением N_{IM} .

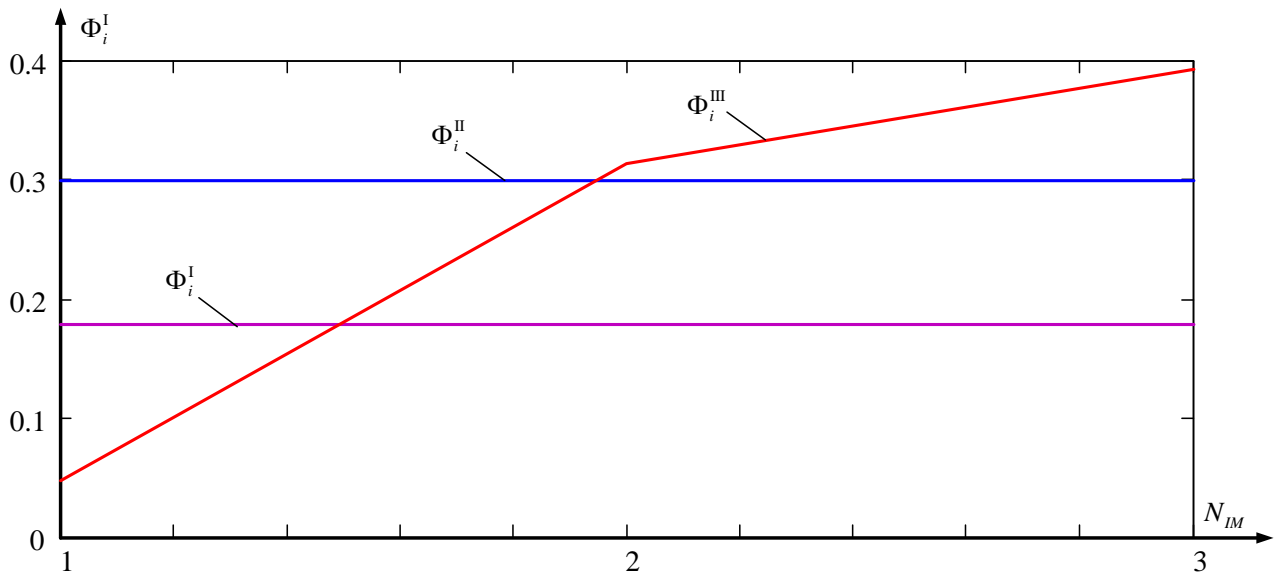


Рисунок 2.6. Вероятность достижения цели от числа модальностей

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 (2.8) однозначно связывает ценность инфор-

мации с эффективностью ПИКС – вероятностью достижения цели X (реализацией услуги) – и позволяет определить минимально необходимое число ОУч $M = \min N_{IM}$, используемое для оценки целостности полимодальной информации (1.18).

Следовательно, создаются предпосылки для установления общих принципов построения ПИКС, что приводит, в частности, к выбору функциональных структур и сигналов (параметров), имеющих наиболее благоприятные информационные характеристики.

2.1.3. Архитектура и принципы построения полимодальных инфокоммуникационных систем

С учетом принятой декомпозиции ПИКС на СПД и многомодальные абонентские терминалы, а также использования метода комплексирования для последних, их обобщенная архитектура может быть представлена следующим образом (рис. 2.7).

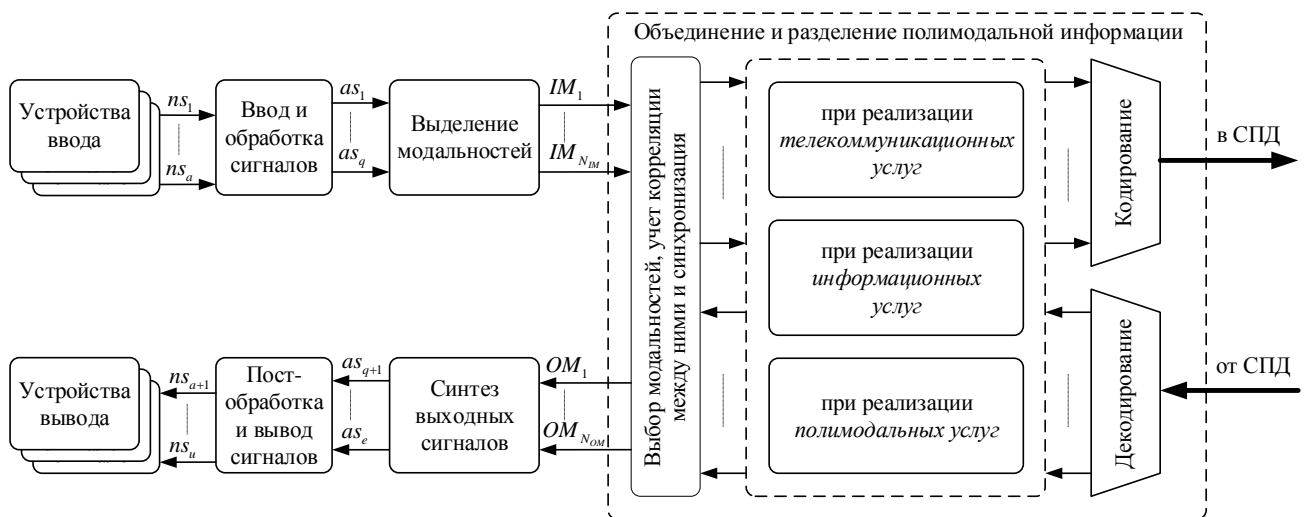


Рисунок 2.7 – Архитектура абонентского терминала ПИКС

К особенностям предложенной архитектуры АТ относятся:

- возможность управляемого (адаптивного) ввода и дистанционной обработки входных сигналов;

- предварительная обработка входных сигналов, обеспечивающая повышение робастности их последующей обработки;
- применение иерархической сегментации сигналов для выделения модальностей различных каналов коммуникации;
- возможность выбора модальностей, синхронизации и учета их взаимной корреляции;
- реализация телекоммуникационных, информационных и полимодальных услуг на основе соответствующих моделей объединения информации;
- формирование предоставляемой абоненту информации из выходных модальностей с учетом удобства ее восприятия.

При этом построение ПИКС должно базироваться на *основополагающих принципах*, которые условно можно разделить на следующие группы [44].

I. Общеметодологические

1. *Принцип соответствия* состояния ПИКС ситуации в ИнфП. Для его выполнения при синтезе ПИКС необходимо обеспечить нахождение для каждой ситуации в системе государственного управления соответствующего состояния инфокоммуникационной системы (требуемых комбинации модальностей и модели реализуемой услуги), оптимального с точки зрения целостности полимодальной информации.

2. *Принцип системности* подразумевает взаимообусловленность полимодальности абонентских терминалов с характеристиками обеспечивающих подсистем ПИКС во всем спектре идентифицируемых условий коммуникативного взаимодействия.

3. *Принцип функциональной полноты* требует размещения в абонентских терминалах ПИКС всех необходимых типов устройств ввода/вывода, функциональных (программных, аппаратных или программно-аппаратных) модулей обработки сигналов и реализации услуг, а также соответствующих обеспечивающих подсистем.

4. *Принцип мультисервисности* [111], под которой понимается независимость технологий предоставления услуг от транспортных технологий.

5. *Принцип полимодельности* подразумевает комплексное использование моделей входных и выходных сигналов различных модальностей, кодирования и передачи полимодальной информации и полимодальных⁵ услуг.

II. Методические

6. *Принцип открытости архитектуры* состоит в возможности расширения числа идентифицируемых в ИнфП ситуаций с соответствующей доработкой абонентского терминала и транспортной инфраструктуры (сети передачи данных) при внедрении новых технологий и услуг.

7. *Принцип функциональной замкнутости* состоит в реализации полимодальности либо в системе в целом, либо в ее подсистеме, либо в отдельном функциональном элементе.

8. *Принцип оперативной управляемости*. Возможность переключения нагрузки (потока блоков данных) с выходов абонентских терминалов на входы оконечного оборудования сети передачи данных определяется оперативностью актуализации и полнотой описания ситуации в ИнфП.

III. Прикладные

9. *Принцип дифференцированности услуг и имеющихся ресурсов* заключается в предварительных процедурах определения для каждой услуги величины ЕКР, классификации потоков блоков данных по уровню требований (числу ЕКР, приоритетам, важности и пр.) и имеющихся ресурсов по соответствию этим потокам (числу ЕКР, удельной себестоимости сети). Выполнение данного принципа ограничивает пространство управления ПИКС, дискретизирует область поиска.

10. *Принцип децентрализации предоставляемых услуг (инвариантности доступа)* заключается в их независимом функционировании, при котором отключение или перемещение одного из физических модулей не влияет на работу системы в целом. Полная децентрализация услуг в ПИКС и свободная композиция их независимо от специфики функционирования ИнфП возможна лишь при условии, когда каждая услуга не зависит от используемой технологии и способна расширять свои знания о предметной области, применяя знания других услуг.

⁵ Полимодальными названы услуги, не относящиеся к услугам связи.

11. *Принцип ассоциативности и толерантности обращения к информации* позволяет быстро получить нужную информацию независимо от объемов выборки. Субъективные воздействия на информацию необходимо снижать за счет возможности отмены и повтора действий, а также путем анализа различных форматов ввода и разумной интерпретации любых разумных действий абонента.

12. *Принцип гарантированного доступа к контексту.* Гарантированный доступ к контексту должен быть обеспечен с помощью транспортной инфраструктуры ПИКС или самими источниками контекста таким образом, чтобы каждый пользователь имел доступ к контекстам других пользователей независимо от степени своей нагрузки или физической доступности. Без систематизации общего контекста коммуникативного акта невозможно формализованное представление контекста для всех его участников. Реализация контекстно-ориентированных услуг обязывает использовать базовую модель контекста предметной области коммуникативного акта, при этом пропадает необходимость включения в соответствующее приложение механизмов поиска соответствий понятий контекстов различных источников.

13. *Принцип многооператорности* определяет возможность участия нескольких операторов в процессе предоставления услуги и распределение их ответственности в соответствии с их областью деятельности.

14. *Принцип обратной связи* предписывает сообщать абонентам о действиях ПИКС, ее подсистем и элементов, их реакциях, изменениях состояния или ситуации, об ошибках и исключениях. Сообщения должны быть четкими, краткими, однозначными и написанными на языке, понятном субъекту ИнфП.

Реализация перечисленных принципов позволяет строить ИКС вне рамок традиционных принципов разделения передаваемой при межличностной коммуникации информации на услуги связи. Для количественного обоснования соответствующих решений была разработана специальная система моделей ПИКС, ее подсистем и элементов.

2.2. Система моделей полимодальной инфокоммуникационной системы

2.2.1. Принципы формирования и состав системы моделей

Базируясь на опыте моделирования, накопленном в предметной области [67, 109, 117, 126, 140, 188, 205], в основу сформированной системы моделей (рис. 2.8) положены следующие принципы:

- *единства*, состоящий в представлении ПИКС любого типа в виде однообразной системы моделей основных функциональных модулей и обеспечивающих подсистем;
- *глобальности*, предписывающий производить формализацию ПИКС в целом, без его искусственной априорной декомпозиции на отдельные элементы (подсистемы) и их отдельного моделирования;
- *иерархичности*, подразумевающий применение моделей одного и того же объекта, различающихся уровнем представления (мета-, макро- и субуровня), степенью детализации исходных данных, целевыми функциями и составом системы ограничений;
- *многоцелевой ориентации*, позволяющий использовать систему моделей в проектных ситуациях, различающихся степенью детализации исходных данных, целевыми функциями и составом системы ограничений;
- *комплексирования*, состоящий в возможности применения на разных уровнях абстрагирования согласованных структурно-функционального и функционально-структурного подходов;
- *аналитичности*, заключающийся в формульном представлении моделей макро- и субуровней системы;
- *упрощения*, основанный на исключении несущественных (на данном уровне исследований) факторов, объединении, линеаризации и регуляризации менее существенных переменных;
- *надежности* вычислений, требующий обеспечения устойчивой работы алгоритмов поиска как в допустимой, так и недопустимой областях функциональ-

ных характеристик, что позволяет разрешить проблему выбора начальной точки задач комбинаторной оптимизации.



Рисунок 2.8 – Структура и состав системы моделей ПИКС

Описательные модели (рис. 2.8) предназначены для обобщения, систематизации и классификации положений исходного методологического базиса. Они способствуют четкому ограничению области применения теоретических и мето-

дологических конструкций, а также предлагаемых ниже моделей мета-, макро- и субуровней.

Концептуальная модель ПИКС – есть частично формализованная система взглядов на построение нового типа инфокоммуникационной системы. На начальном этапе данная теоретическая конструкция представляла собой основную идею научного поиска, являлась большей частью результатом творческого акта. В ходе проведенных исследований, решения общих и частных научных задач, эта концептуальная модель доведена до уровня инструмента актуализации вновь полученных теоретических знаний к потребностям практики построения ПИКС различного назначения (раздел 4). Концептуальная модель ПИКС является моделью метауровня исследований.

Блок теоретических конструкций объединяет архитектуры, схемы, формализованные правила и алгоритмы отношений, объективно существующие в предметной области, в том числе реализованные в соответствующих абонентских терминалах и сетях передачи данных.

Математические модели (рис. 2.8) предназначены для формального (посредством математических средств) описания зависимости внешних функциональных характеристик исследуемых объектов (ПИКС, подсистем, компонентов) от их внутренних характеристик и имеющихся исходных данных. Состав комплекса математических моделей согласован с иерархией функциональных характеристик ПИКС (рис. 1.19). В соответствии с указанными выше принципами он базируется на применении серии различающихся степенью адекватности (и соответственно размерностью) моделей.

Макромодель представляет собой конструкцию, объединяющую математические и аналитико-алгоритмические страты.

Целью макромоделирования является получение «экспресс-оценок» макрохарактеристик ПИКС для их дальнейшего автономного, но взаимосогласованного формального описания и ограничение области поиска оптимальной информационно-алгоритмической структуры ПИКС [117].

Математические модели являются *моделями субуровня* (рис. 2.8) и предназначены для формализации зависимости внешних функциональных характеристик подсистем ПИКС от параметров их программно-аппаратных компонентов. Модели субуровня (входных сигналов различных модальностей, выходных сигналов ПИКС, полимодальных услуг) и инцидентные им методы *МО*, алгоритмы *АЛ* и программно-аппаратные реализации *АР* соответствующих приложений, составляющие множество допустимых системотехнических решений Δ_α , будут рассмотрены ниже. Особого внимания заслуживают модели кодирования и передачи полимодальной информации, обеспечивающие взаимное соответствие скорости обработки модальностей в АТ (производительности источника информации) и производительности каналов связи и узлов коммутации в СПД. Причиной этому служит первоочередная необходимость реализации коммуникативной и интерактивной сторон межличностного общения, усиленная передачей информации о его перцептивной стороне (в виде полимодальных услуг).

2.2.2. Концептуальная модель полимодальной инфокоммуникационной системы

Концептуальная модель формируется проектировщиками системы и модернизируется специалистами организации-заказчика (субъектов ИнфП) в ходе эксплуатации, а ее построение является предварительным этапом формулировки математической модели. Она относится к классу логико-лингвистических моделей [201] и позволяет описать предметную область в обычных для абонента ПИКС понятиях. В качестве концептуальных моделей в операционных исследованиях слабоструктурированных систем могут быть использованы когнитивные модели (карты).

Определение 1. Когнитивная карта ПИКС – структура (сеть) причинно-следственных связей между ее элементами и среды функционирования, отображающая представление индивида (эксперта) или группы индивидов об устройстве и функционировании ПИКС.

Определение 2. Ситуация – состояние ПИКС и корпоративной среды, характеризующееся структурой когнитивной карты, оценками динамики параметров базисных факторов и их значениями, зафиксированными в определенный момент времени.

Когнитивная карта представляет собой взвешенный ориентированный граф $G_{\text{КК}} = (X, A)$, вершинами X которого являются базисные факторы, а ребрами C – прямые влияния факторов друг на друга. С графом G ассоциируется матрица смежности графа $A_g = \{a_{ij}\}$, элементы которой характеризуют влияние фактора x_i на фактор x_j . Перечень базисных факторов когнитивной модели ПИКС представлен в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Базисные факторы когнитивной модели ПИКС, их начальные значения и оценки динамики фактора

№	Наименование базисного фактора	ОДФ
1	2	3
Управляющие факторы		
1	Навыки использования АТ и информационных технологий (ИТ)	+1
2	Наличие устройств традиционного ввода (клавиатура и «мышь»)	0
3	Наличие устройств рукописного ввода	0
4	Наличие микрофонов	0
5	Наличие видеокамер	0
6	Наличие тактильных датчиков	0
7	Наличие анализаторов запаха	0
8	Объем инфокоммуникационных ресурсов	-1
9	Объем вычислительных ресурсов АТ	-1
10	Объем требуемой памяти	-1
Факторы, определяемые технологиями обработки сигналов различной модальности		
11	Выделение текстовых модальностей (традиционный и рукописный ввод)	+1
12	Выделение акустических модальностей (речевой и неречевые сигналы, паузы)	+1
13	Анализ артикуляции губ	+1
14	Выделение модальностей лица (строение, выражение и цвет кожи лица)	+1
15	Анализ движения рук	+1
16	Анализ телодвижений	+1
17	Анализ положения тела (положение тела и относительное положение частей тела)	+1
18	Выделение модальностей глаз (движение зрачков и моргания)	+1
19	Анализ внешнего вида	0
20	Выделение мезансцены	0
21	Выделение тактильных модальностей (влажность рук, давление, температура)	+1
22	Выделение ольфакторных модальностей (запахи)	+1

Продолжение таблицы 2.1

1	2	3
Целевые факторы, определяющие степень реализации телекоммуникационных услуг		
23	Передача текстовых сообщений	-1
24	Передача неподвижных изображений	-1
25	Передача аудио	-1
26	Передача видео	-1
27	Передача данных полимодальной услуги	-1
28	Тактильный вывод	-1
29	Передача запахов	-1
Факторы, определяемые технологиями обработки многомодальных сигналов		
30	Определение семантики сообщений	+1
31	Распознавание речи	+1
32	Чтение по губам	+1
33	Распознавание лиц	+1
34	Распознавание мимики	+1
35	Определение направления взгляда	+1
36	Определение положения тела	+1
37	Распознавание жестов	+1
38	Распознавание запахов	+1
Целевые факторы, определяющие степень реализации полимодальных услуг		
39	Стенографирование передаваемых текстовых и речевых сообщений	+1
40	Информационный поиск по передаваемым сообщениям	+1
41	Идентификация абонента	+1
42	Управление объектами (навигация)	+1
43	Мониторинг активности абонента	+1
44	Определение степени алкогольной интоксикации	+1
45	Определение ольфакторного состояния	+1
46	Определение эмоционального состояния	+1
47	Определение психофизиологического состояния	+1
48	Оценка истинности передаваемой информации	+1

Для удобства восприятия и последующего анализа когнитивная модель ПИКС ГУ представлена моделями реализации телекоммуникационных (рис. 2.9) и полимодальных услуг (рис. 2.10). Структура указанных моделей и начальные значения параметров базисных факторов определены на основе методологии, описанной в [201]. 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 его цели.

Модель реализации телекоммуникационных услуг ПИКС (рис. 2.9) отражает взаимодействие объектов и процессов, сопровождающих сбор, обработку, хранение и передачу многомодальной информации.

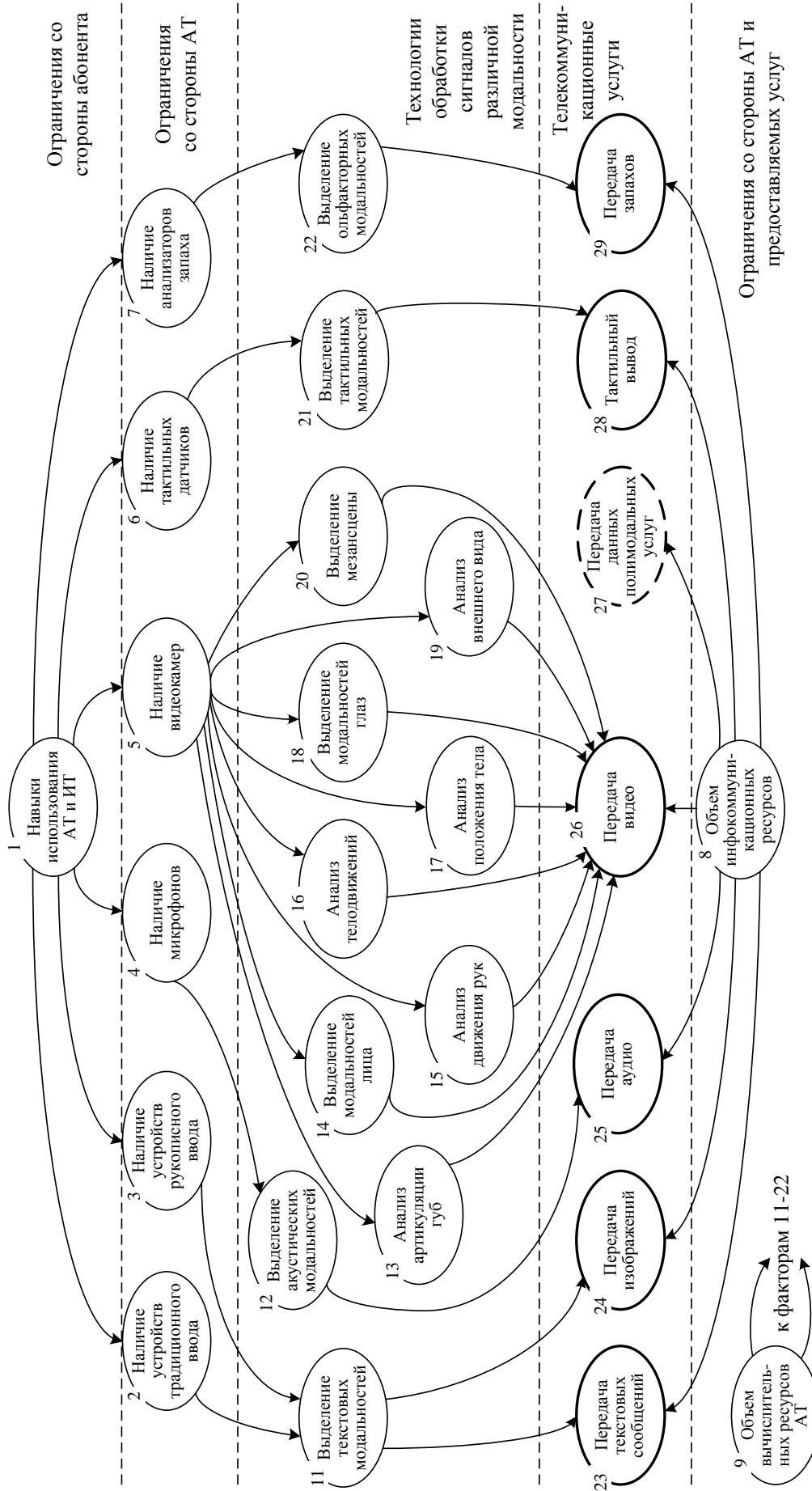


Рисунок 2.9 – Когнитивная модель реализации телекоммуникационных услуг ПИКС

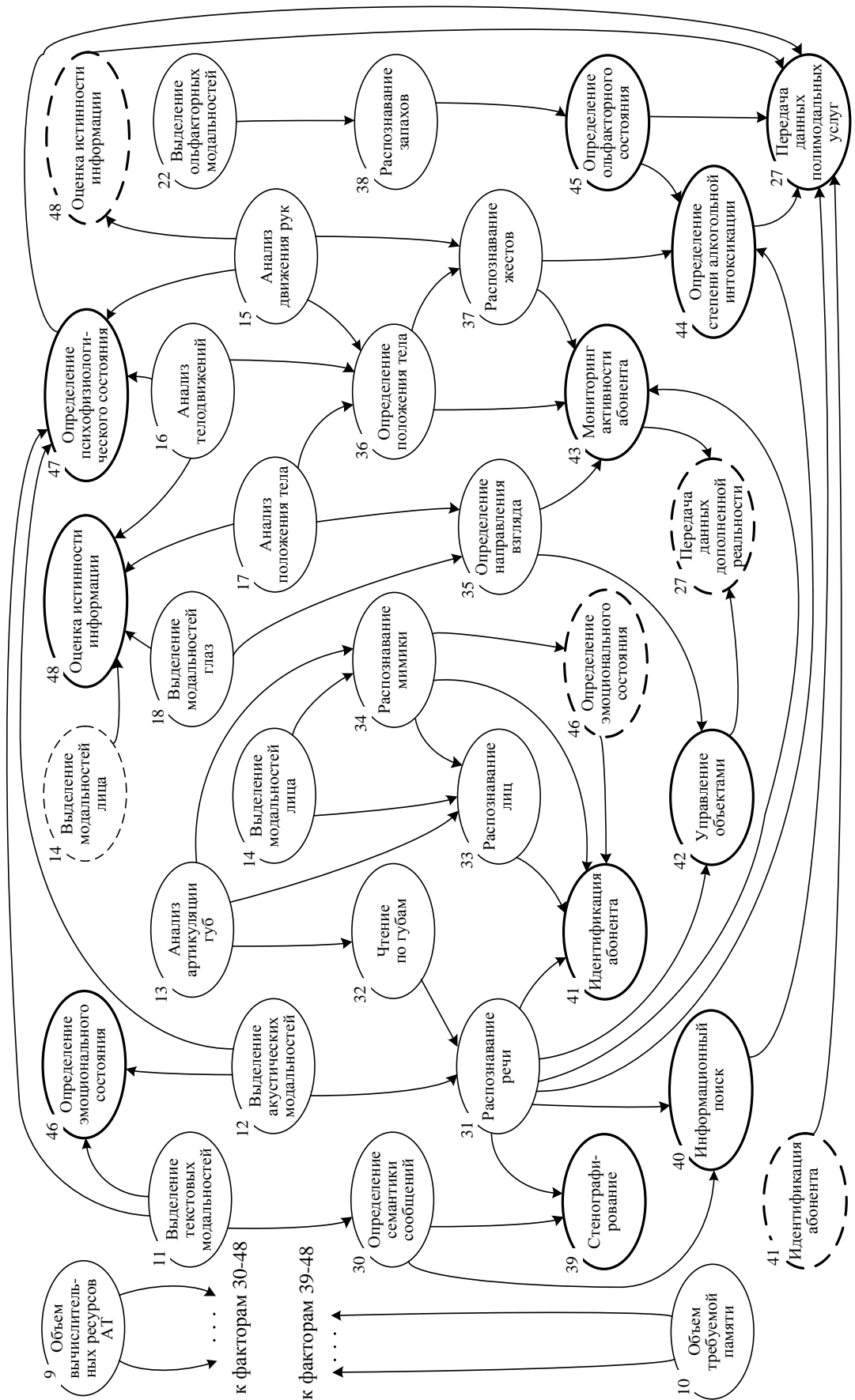


Рисунок 2.10 – Когнитивная модель реализации полимодальных услуг ПИКС (для удобства восприятия некоторые факторы модели изображены несколько раз, повторное изображение фактора отмечено пунктирным контуром)

Следует заметить, что функции ПИКС, связанные с распределением, отображением и использованием многомодальной информации, характерны приемной части АТ. Она, по сути, является «обратной» передающей части, поэтому с учетом принятого допущения (п. 2.1.1) при концептуальном моделировании не рассматривается.

На степень реализации телекоммуникационных услуг (факторы 23-29) оказывают влияние качество обработки сигналов различной модальности (факторы 11-22), а также ограничения:

на способы человекомашинного взаимодействия со стороны абонента – связанные с его навыками использования АТ и информационных технологий (фактор 1), личными предпочтениями и физическими ограничениями (причинно-следственные связи между факторами 1 и 2-7);

среды человекомашинного взаимодействия (причинно-следственные связи между факторами 2-7 и 11-22);

на способы человекомашинного взаимодействия со стороны АТ, связанные с его программно-аппаратными возможностями (фактор 9, причинно-следственные связи между факторами 9 и 11-22, 11-22 и 23-29);

предоставляемых услуг, связанные с наличием доступа к инфокоммуникационным ресурсам (причинно-следственные связи между факторами 8 и 23-29) и их объемом (фактор 8).

Модель реализации полимодальных услуг (рис. 2.10) отражает взаимодействие объектов и процессов, сопровождающих получение смысла сообщаемых сообщений, установление личности абонента, его настроение, эмоциональное, психофизиологическое и ольфакторное состояния и другие варианты использования многомодальной информации. На степень реализации полимодальных услуг (факторы 39-48) оказывают влияние качество обработки многомодальных сигналов (факторы 30-38), а также ограничения:

на способы человекомашинного взаимодействия со стороны АТ, связанные с его программно-аппаратными возможностями (причинно-следственные связи между факторами 9 и 30-38; 10 и 39-48);

предоставляемых услуг, связанные с предметной областью (причинно-следственные связи между факторами 39-48).

Для описания взаимовлияния базисных факторов использованы лингвистические переменные [201], на их основе формализована обобщенная матрица взаимовлияний базовых факторов⁶.

2.2.3. Макромодель полимодальной инфокоммуникационной системы

Очевидно, что детализация метамodelей ПИКС в рамках СФП будет иметь высокую вычислительную сложность. Для преодоления связанных с этим методических трудностей было принято решение об использовании в настоящем исследовании глобального подхода и средств макро моделирования [164].

Для формализации и решения задачи синтеза ПИКС предложена макро модель (рис. 2.11), основанная на теории множеств и включающая элементы (множества), введенные в [51, 172]

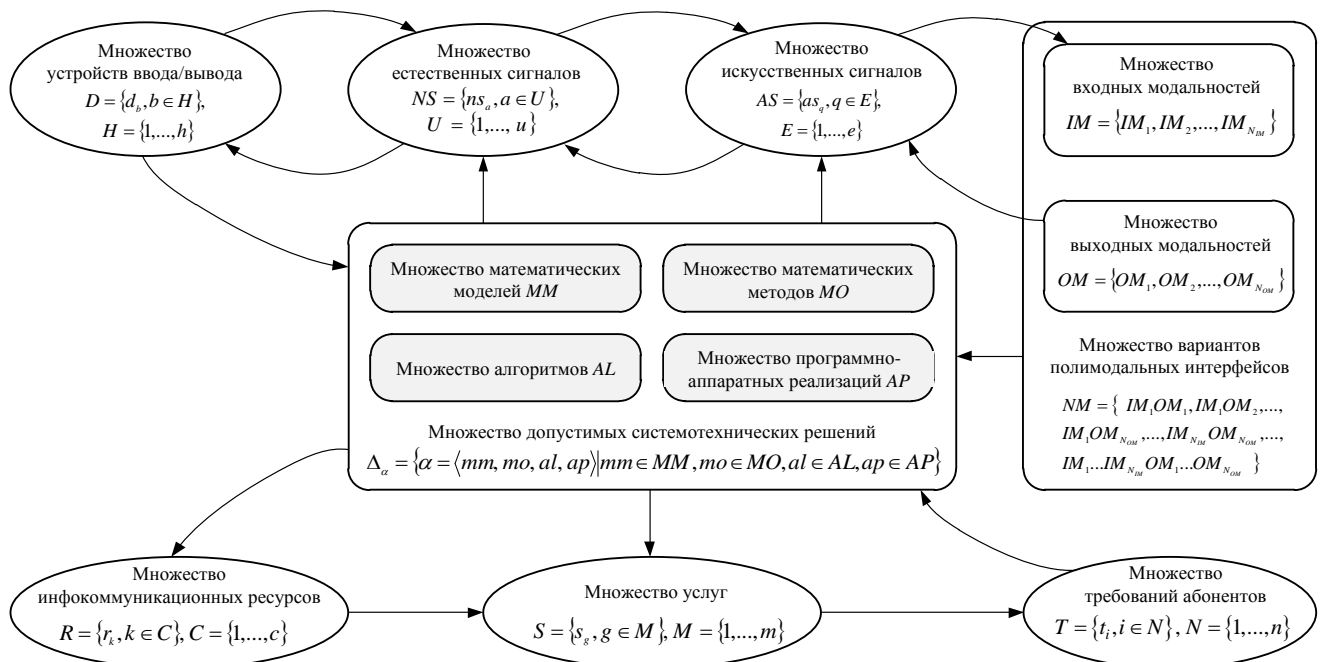


Рисунок 2.11 – Теоретико-множественная (макро-) модель ПИКС

⁶ Не приводится из-за своей громоздкости и отсутствия необходимости дублирования информации, представленной на рисунках 2.9 и 2.10.

Для обработки сигналов в режиме реального времени T вводится множество

$$W^{(\alpha)} : AS \times NS \times T \rightarrow AS^{(\alpha)} \times NS^{(\alpha)},$$

ограничивающее множество преобразований W на множестве решений Δ_α .

Рассмотренный формализм (рис. 2.11) позволяет увязать воедино требования метасистемы, технические и потоковые характеристики процессов обработки информации, структурно-топологические и потоковые характеристики процессов передачи информации, структуру ПМИО АТ и параметры его подсистем.

2.2.4. Модель структуры программно-математического и информационного обеспечения абонентского терминала полимодальной инфокоммуникационной системы

Для формализации взаимосвязей между различными вариантами построения элементов структуры ПМИО АТ используется альтернативно-графовая формализация (см. п. 1.3.1).

Пусть $G_{\text{ПМИО}}^* \in G_{\text{ПМИО}}$ – подграф, задающий один из возможных вариантов реализации узлов структуры ПМИО с их взаимосвязями. Вершины графа $G_{\text{ПМИО}}$ отождествляются с вариантами построения узлов переработки информации, функционирующих на основе алгоритмов $al \in AL$ реализации отдельных процедур преобразования естественных NS и искусственных AS сигналов. Его дуги отражают информационные (сигнальные) взаимосвязи между узлами;

G_F – граф взаимосвязей выполнения альтернативных функций ПИКС, определяемых по результатам концептуального моделирования; $G_F^* \in G_F$ – подграф, задающий один из возможных вариантов реализации функций системы, которые предстаются в виде совокупности взаимосвязанных задач, которые, в свою очередь, могут быть разбиты на последовательно выполняемых операций (этапов). 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 в рамках (1.24) распределение выполняемых системой функций по узлам структуры ПМИО;

$n_\eta(\eta = \overline{1, \eta_0})$ – характеристики качества создания и функционирования ПИКС (п.1.3.3).

Тогда статическая задача синтеза структуры ПМИО АТ может быть представлена следующим образом:

$$\begin{aligned} \text{extr} \mathfrak{R}_0 \left\{ (G_F^* \in G_F) \mathfrak{R}^* (G_{\text{ПМИО}}^* \in G_{\text{ПМИО}}) \right\}, \\ \mathfrak{R}_\eta \left\{ (G_F^* \in G_F) \mathfrak{R}^* (G_{\text{ПМИО}}^* \in G_{\text{ПМИО}}) \right\}, \quad \eta = \overline{1, \eta_0}, \mathfrak{R}^* \in \mathfrak{R}. \end{aligned} \quad (2.9)$$

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.

Пусть задано множество задач $i = \{1, \dots, I\}$ (этапов $z = \{1, \dots, z_i\}$) ПИКС и их вариантов $k = \{1, \dots, K\}$, множество узлов структуры ПМИО системы $j = \{1, \dots, J\}$ и вариантов их построения $p = \{1, \dots, P_j\}$.

Задача синтеза структуры ПМИО АТ ПИКС в данном случае может быть сформулирована следующим образом:

$$F_0(x_{ik}, x_{izn}, x_{izj}, x_{jp}) \rightarrow \text{opt}, \quad (2.10)$$

где F_0 – оптимизируемые показатели качества, например, удельная себестоимость средств обработки информации $\zeta^{\text{ИНФ}}$ (1.10) или целостность информации (1.17); при ограничении на затраты функционирования

$$\sum_{i,z,n,j} H_{iznj} x_{iznj} x_{i'z'n'j'} \leq H \quad (2.11)$$

и загрузку узлов

$$\sum_{i,k,z,n} R_{ikznt}^{\gamma} x_{ikznt} \leq R_{jpt}^{\gamma} - P_{jpt}^{\gamma}, \quad j = \overline{1, J}, \quad \gamma = \overline{1, \gamma_0}, \quad (2.12)$$

где $H_{iznj\hat{i}\hat{z}\hat{n}\hat{j}} = \alpha_{iznj}$, если $iznj = \hat{i}\hat{z}\hat{n}\hat{j}$; $H_{iznj\hat{i}\hat{z}\hat{n}\hat{j}} = \beta_{izni\hat{z}\hat{n}\gamma_{jl\hat{l}'}}$, если $iznj \neq \hat{i}\hat{z}\hat{n}\hat{j}$; α_{iznj} – затраты на решение z -го этапа i -й задачи в j -м узле; $\beta_{izni\hat{z}\hat{n}}$ – средний поток информации между zn -этапом i -й задачи и $\hat{z}\hat{n}$ -этапом \hat{i} -й задачи в процессе функционирования системы; $\gamma_{j\hat{l}'\hat{l}}$ – затраты на передачу единицы объема информации из узла j в узел \hat{j} , оснащенных техническими средствами l -го и \hat{l} -го типа соответственно; R_{ikznt}^{γ} – количество ресурсов γ -го типа в момент времени t , необходимое для выполнения z -го этапа i -й задачи; P_{jpt}^{γ} – ресурсы, необходимые для выполнения оперативных задач (задач управления);

$$x_{ik} = \begin{cases} 1, & \text{если } i\text{-я задача решается } k\text{-м способом;} \\ 0 & \text{- в противном случае,} \end{cases} \quad \text{– вариант решения задачи;}$$

$$x_{izn} = \begin{cases} 1, & \text{если } z\text{-й этап } i\text{-й задачи выполняется в } n\text{-м способе;} \\ 0 & \text{- в противном случае,} \end{cases} \quad \text{– вариант решения}$$

этапа;

$$x_{izj} = \begin{cases} 1, & \text{если } z\text{-й этап } i\text{-й задачи выполняется в } j\text{-м узле;} \\ 0 & \text{- в противном случае,} \end{cases} \quad \text{– объем задачи;}$$

$$x_{jp} = \begin{cases} 1, & \text{если } j\text{-й элемент реализуется } p\text{-м способом;} \\ 0 & \text{- в противном случае,} \end{cases} \quad \text{– вариант реализации узла;}$$

$$x_{iznj} = \begin{cases} 1, & \text{если } z\text{-й этап } i\text{-й задачи решается в } n\text{-м варианте в } j\text{-м узле;} \\ 0 & \text{- в противном случае,} \end{cases} \quad \text{– вариант ре-}$$

шения задачи, вариант этапа и узел, в котором он выполняется;

$$x_{ikznt} = \begin{cases} 1, & \text{если } n\text{-й вариант } z\text{-го этапа } i\text{-й задачи,} \\ & \text{решаемой } k\text{-м способом, выполняется в } j\text{-м узле;} \\ 0 & \text{- в противном случае,} \end{cases} \quad \text{– вариант решения зада-}$$

чи, способ, вариант этапа и узел, в котором он выполняется.

Представленная формализация синтеза (2.10) позволяет решить задачу распределения задач между элементами (узлами) структуры ПМИО АТ ПИКС методами целочисленного программирования.

2.2.5. Модель структуры управления абонентским терминалом

Наряду с приведенной выше статической задачей синтеза актуальной является задача оптимального управления структурой ПМИО АТ, т. е. синтез структуры управления, обеспечивающей изменение структуры ПМИО в изменяющихся условиях СФ ПИКС. Наличие соответствующих структурных альтернатив ПМИО обеспечивается решением задачи (2.10) 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 .

Введенная таким образом иерархия является, согласно [69], деревом организации группы f , т.е. принадлежит $D(f)$. Исходя из конкретной содержательной интерпретации элементов множества AL и управляющих центров, возможные различные ограничения на деревья, т.е. исследованию подлежит множество Ω структур управления $G_{\text{ТУ}} \in \Omega$ с заданным на нем функционалом $P: \Omega \rightarrow [0; +\infty)$, являющееся подмножеством $D(f): \Omega \subseteq D(f)$.

В качестве функционала стоимости рассматриваются следующие варианты:

$$P(C(g_1), \dots, C(g_j)) = [C(g_1) + \dots + C(g_j)]^p, \quad (2.13)$$

$$P(C(g_1), \dots, C(g_j)) = [C(g_1) + \dots + C(g_j) - \max(C(g_1), \dots, C(g_j))]^p, \quad (2.14)$$

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.

Функционал (2.13) монотонен и не корректен в нуле. Стоимость функционирования соответствующей системы управления определяется суммой сложностей организуемых подгрупп. Функционал (2.14) монотонен и корректен в нуле. Для него стоимость функционирования соответствующей системы управления определяется суммой сложностей подгрупп, организуемых с самой сложной.

На основе вышесказанного, а также методического базиса, введенного в [69], задача синтеза структуры управления АТ ПИКС в рамках центральной гипотезы исследований (с учетом изложенного в п. 2.2.4 и п. 3.2.1) может быть сформулирована как задача поиска оптимальной иерархии [69]:

$$\arg \min_{G_{\text{ТУ}} \in \Omega} P(G_{\text{ТУ}}).$$

Алгоритмы решения данной задачи представлены в п. 3.2.2.

2.2.6. Модели сигналов различных модальностей

Под сигналами различных модальностей будем понимать естественные сигналы AS и сигналы отдельных модальностей IM и OM . При этом будем рассматривать их как точки в некотором P -мерном пространстве [195] и для удобства изложения обозначать как множество точек $\vec{A}_p \in \{R^P\}$ (пространство сообщений источника или модальности).

В качестве матрицы изображения будем рассматривать матрицу, каждый элемент которой является значением яркости соответствующего пикселя изображения:

$$[A] = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1j} & \dots & a_{1N} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2j} & \dots & a_{2N} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{i1} & a_{i2} & \dots & a_{ij} & \dots & a_{iN} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{P1} & a_{P2} & \dots & a_{Pj} & \dots & a_{PN} \end{bmatrix},$$

где a_{ij} – значение ij -го пикселя матрицы изображения; P, N – линейные размеры изображения в пикселях.

В зависимости от типа кодируемого изображения матрица $[A]$ может быть представлена различными способами.

При обработке черно-белого монохромного графического образа, являющегося пока единственным способом рукописного ввода, матрица $[A]$ является двумерной. Значения квантованных дискретных отсчетов элементов a_{ij} в этом случае принадлежат диапазону 0–255.

Для цветных неподвижных изображений матрица $[A]$ является трехмерной и имеет три цветовых компонента (рис. 2.13). Значения квантованных дискретных отсчетов элементов компонентов a_{ij_R} , a_{ij_G} и a_{ij_B} принадлежат диапазону 0–255.

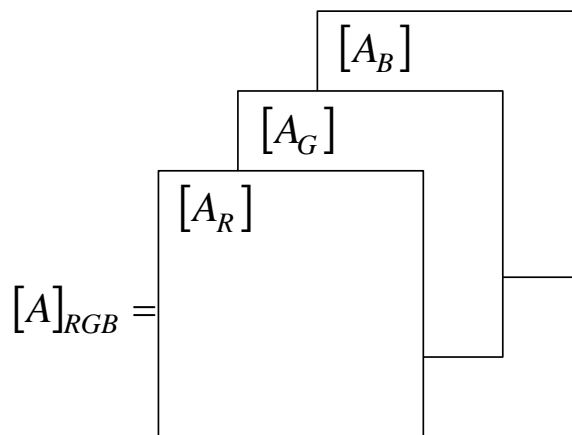


Рисунок 2.13 – *RGB*-представление матрицы квантованных дискретных отсчетов цветных неподвижных изображений

При сжатии подвижных изображений зачастую используется разложение матрицы $[A]_{RGB}$ на матрицы яркостного (Y) и цветоразностных (U, V) компонентов, элементы которых определяются на основе выражений

$$a_{ij_Y} = 0,299 a_{ij_R} + 0,587 a_{ij_G} + 0,114 a_{ij_B} ;$$

$$a_{ij_U} = 0,492 a_{ij_B} - a_{ij_Y} ; a_{ij_V} = 0,877 a_{ij_R} - a_{ij_Y} .$$

С учетом того, что яркостные компоненты являются менее информативными, используется уменьшение размерности матриц U и V , как правило, в четыре раза, путем формирования усредненных значений их элементов. Значения квантованных дискретных отсчетов элементов a_{ij_Y} принадлежат диапазону 0–255, a_{ij_U} – диапазону –112– +112, a_{ij_V} – диапазону –157– +157.

В качестве входных речевых (с выхода массива микрофонов) и тактильных (с соответствующих датчиков) сигналов, как и в случае видеоизображений, будем рассматривать матрицу $[A]$, каждая строка которой соответствует сигналу с выхода i -го ($i = 1 \dots P$) микрофона (датчика), а элемент – значению его квантованного дискретного отсчета (рис. 2.14).

Следует отметить, что частота дискретизации входных аналоговых (речевых и тактильных) сигналов при формировании дискретных отсчетов определяется в соответствии с теоремой Котельникова, а значения квантованных дискретных отсчетов принадлежат диапазону –127–+128, т. е., как и значения яркостного компонента изображения, имеют 256 уровней квантования. При представлении речевого сигнала, записанного с использованием одного микрофона, в виде матрицы (1), параметр P выбирается равным единице.

Описанное выше представление информации от различных каналов коммуникации позволяет с некоторыми допущениями рассматривать их характеристики с единых позиций, как характеристики сообщений дискретных избыточных источников.

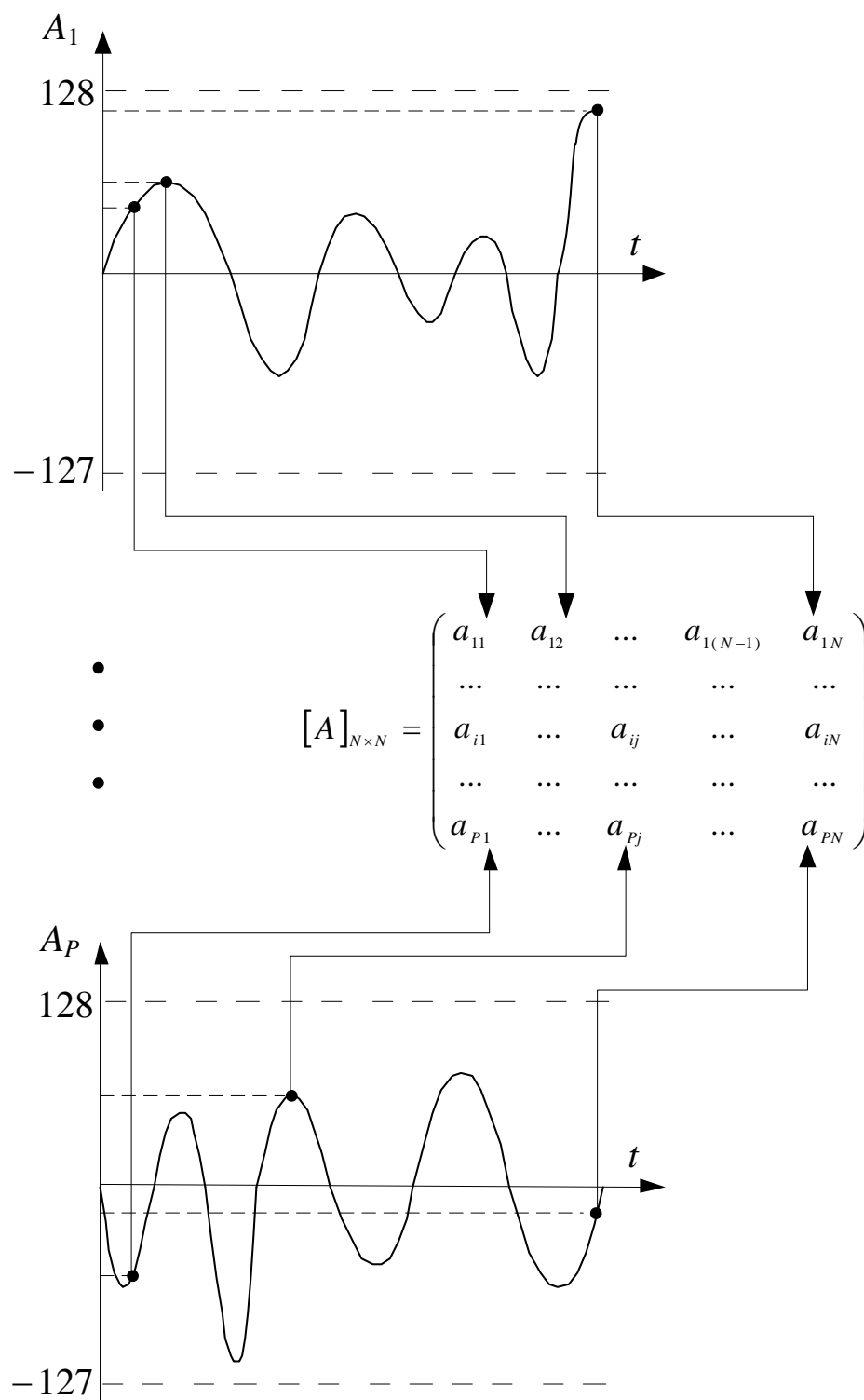


Рисунок 2.14 – Пример формирования матрицы квантованных дискретных отсчетов речевых и тактильных сигналов

В ходе анализа статистических характеристик сообщений дискретных источников удобно воспользоваться их векторным представлением. При этом

элементы матрицы $[A]$ компонуются в один вектор с помощью операции упорядочения:

$$\vec{A} = \sum_{n=1}^N [N_n][A]\vec{v}_n; \vec{v}_n = \begin{bmatrix} 0 \\ \vdots \\ 1 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} n; [N_n] = \begin{bmatrix} 0 & & & & & \\ & \ddots & & & & \\ & & 0 & & & \\ & & \vdots & & & \\ 1 & & \ddots & & & \\ & & & \ddots & & \\ & & & & 1 & \\ & & & & \vdots & \\ 0 & & & & & 1 + (N-1)P \\ & & & & \ddots & \\ & & & & & 0 \end{bmatrix} NP, \quad (2.15)$$

в которой вектор \vec{v}_n выделяет n -й столбец матрицы $[A]$, а матрица $[N_n]$ помещает его на n -й отрезок вектора \vec{A} .

Таким образом, вектор \vec{A} содержит все элементы матрицы $[A]$, последовательно считанные по столбцам, и имеет размеры $NP \times 1$ элементов. С учетом (2.15) сообщения дискретного источника могут рассматриваться как точки в NP -мерном пространстве $\vec{A}_{NP} \in \{R^{NP}\}$ [208]. Индекс, показывающий размерность вектора сообщения, для сокращения записи в дальнейшем опустим.

2.2.6.1. Взаимосвязь метрик, применяемых при обработке сигналов различных модальностей

В соответствии с последовательностью преобразований и получаемыми результатами обработки (рис. 2.7), а также исходным теоретическим базисом исследования (п. 2.1) научно-методический инструментарий оценки качества обработки сигналов различных модальностей может быть представлен в следующем виде (рис. 2.15). Проведенный анализ показал, что большинство мер искажения

сигналов различных модальностей основаны на расстояниях, вводимых в векторных пространствах [118].

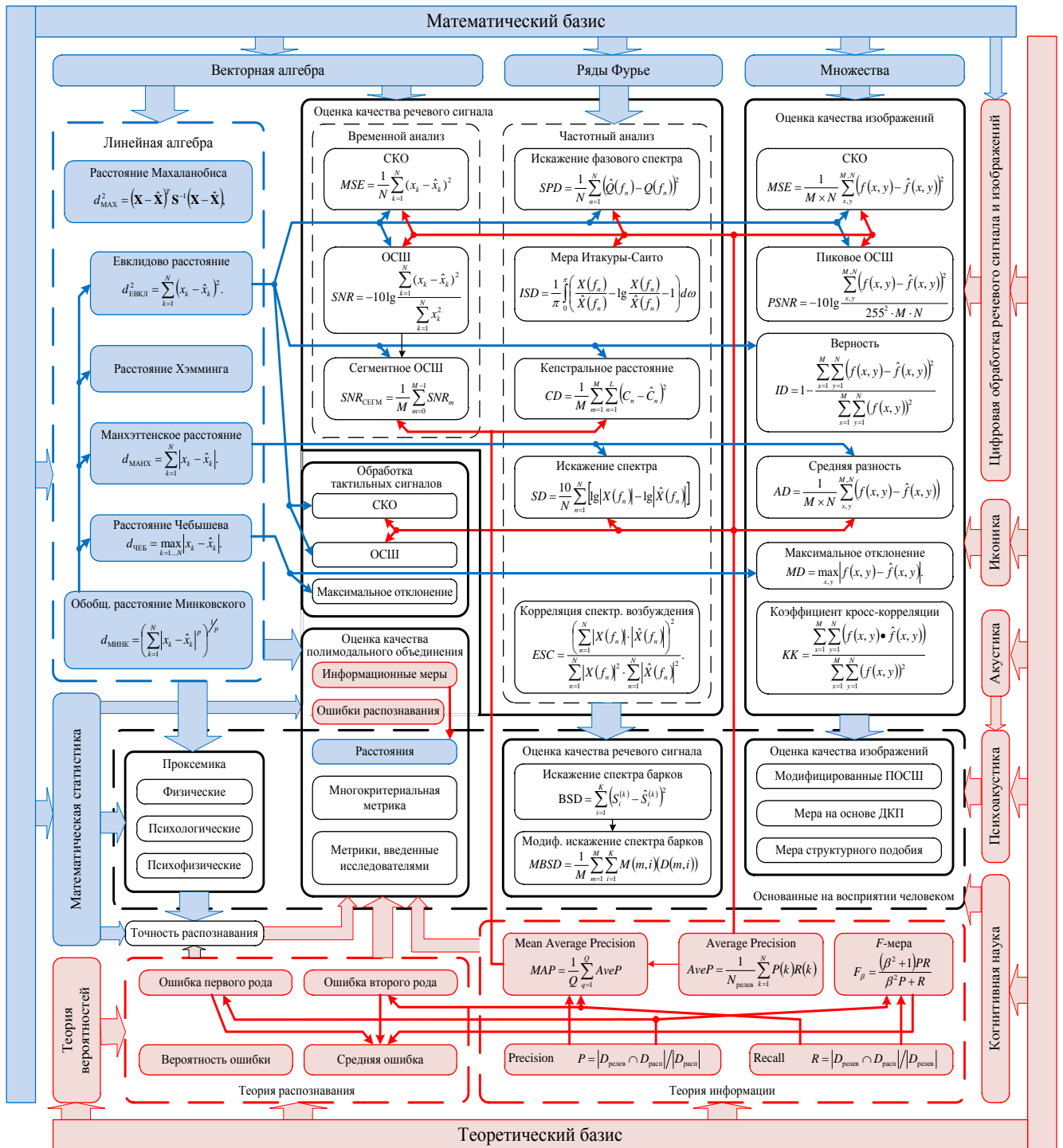


Рисунок 2.15 – Взаимосвязь метрик, применяемых при обработке различных модальностей

Так, например, используется обобщенное расстояние Минковского

$$d_{\text{МИНК}} = \left(\sum_{k=1}^N |x_k - \hat{x}_k|^p \right)^{1/p},$$

где x_k и \hat{x}_k – компоненты N -мерных векторов \mathbf{X} и $\hat{\mathbf{X}}$ соответственно и его частные случаи.

Манхэттенское расстояние при $p=1$; *расстояние Хэмминга*, если компоненты векторов являются бинарными; *Евклидово расстояние* при $p=2$; *расстояние Чебышева* (предел расстояния Минковского) при $p \rightarrow \infty$.

Наилучшим образом учесть структуру сравниваемых множеств позволяет *расстояние Махаланобиса*

$$d_{\text{МАХ}}^2 = (\mathbf{X} - \hat{\mathbf{X}})^T \mathbf{S}^{-1} (\mathbf{X} - \hat{\mathbf{X}}),$$

где символом \mathbf{S}^{-1} обозначена матрица, обратная к ковариационной матрице генеральной совокупности векторов, из которой извлекаются сравниваемые векторы. Однако его определение требует значительных вычислительных ресурсов, поэтому оно редко применяется в задачах реального времени.

При этом теоретическую основу оценки качества обработки сигналов составляют информационные метрики [270, 275]:

1) *Recision* (точность) – отношение числа используемых (множество $D_{\text{расп}}$) релевантных (множество $D_{\text{релев}}$) объектов к общему числу используемых объектов; в качестве элементов данных множеств объектов могут выступать результаты применения экспертных систем или решающих правил, а также прямых измерений и вычисленных метрик;

2) *Recall* (полнота) – отношение числа используемых (распознанных, вычисленных) релевантных объектов к общему числу релевантных объектов;

3) *F-мера* (*F-measure*, мера Ван Ризберга) – взвешенное гармоническое среднее точности и полноты: при $0 < \beta < 1$ предпочтение отдается точности, при $\beta > 1$ больший вес приобретает полнота, при $\beta = 1$ – *F-мера* придает одинаковый вес точности и полноте и называется сбалансированной;

4) *Average Precision* (средняя точность), рассчитываемая путем усреднения значений функции $P(R)$ на интервале изменения ее аргумента, при этом k – порядковый номер объекта в их последовательности; N – общее число (распознанных) объектов; $P(k)$ – точность k -го объекта в последовательности; $R(k)$ – индикаторная функция, равная 1, если k -й объект является релевантным, и 0 – в противном случае; $N_{\text{релев}}$ – число релевантных объектов.

На основе установленных соответствий (рис. 2.15) определены метрики, ус- танавливающие степень различия (объективные методы) между исходным (ори- гинальным, эталонным) и синтезированным (восстановленным, оцениваемым) ре- чевыми сигналами в задачах его кодирования [63, 211]. При этом применены сле- дующие обозначения:

- \mathbf{X} и $\hat{\mathbf{X}}$ – векторы эталонных значений и оценок;
- $X(f_n)$ и $\hat{X}(f_n)$ – спектры исходного и синтезированного сигналов соот- ветственно;
- $Q(f_n)$ и $\hat{Q}(f_n)$ – их фазовые спектры;
- $S_i^{(k)}$ и $\hat{S}_i^{(k)}$ – спектры барков k -го сегмента исходного и синтезированного РС в i -й критической полосе;
- $M(m, i)$ и $D(m, i)$ – i -е параметры искажений уровня ощущения и разли- цы уровней громкости n -го сегмента анализа;
- N – количество отсчетов дискретного речевого сигнала (длина сегмента);
- M – число сегментов в речевом фрагменте;
- L – число кепстральных коэффициентов;
- K – общее количество критических полос.

Установлено, что наиболее общим и широко используемым измерением ис- кажений во временной области является *среднеквадратичная ошибка* (СКО, *MSE* – *Mean Square Error*), позволяющая сравнивать лишь форму огибающих исходно- го и синтезированного РС. Для количественной оценки качества РС чаще исполь- зуют *отношение сигнал-шум* (ОСШ, *SNR* – *Signal-to-Noise Ratio*), учиты- вающее

общие мощности сигнала и шума на всей длительности испытательного сигнала. В некоторых исследованиях большое значение имеют кратковременные ОСШ, учитывающие сегментный характер слухового восприятия элементов речи. Наибольшую популярность среди спектральных методов получили *расстояние Итакуры–Саито* (*ISD – Itakura-Saito Distance*) и *кентральное расстояние* (*CD – Cepstral distance*) [63, 211].

Аналогичные выводы справедливы для одноименных метрик, применяемых в задачах кодирования изображений ($f(x, y)$ и $\hat{f}(x, y)$ – оригинальное и восстановленное изображения размером $M \times N$ соответственно): *СКО* и *пиковое ОСШ* (*ПОСШ, PSNR – Peak Signal to Noise Ratio*) некорректно отражают структурные искажения, а также плохо коррелируют с визуальной оценкой качества (субъективные методы) [118].

С учетом достижения когнитивной науки, психоакустики и иконики метрики сигналов акустического и визуального каналов коммуникации совершенствовались с целью учета восприятия человеком [212]. Первый объективный критерий оценивания качества РС, основанный на учете особенностей слухового восприятия речи человеком в критических частотных полосах, получил название *искажение спектра барков* (*BSD – Bark Spectral Distortion*). Его модификация (*MBSD – Modified Bark Spectral Distortion*) отражает такое важное свойство слуха, как маскирование [291].

К метрикам, учитывающим особенности зрительной системы человека, искажения яркости и контраста, а также степень коррелированности между оригинальным и восстановленным изображениями, относятся *PSNR–HVS* и *PSNR–HVS–M* [216]. Мера качества видео (*VQM – Video Quality Measurement*) на основе дискретного косинусного преобразования (ДКП) вместо попиксельного яркостного сравнения двух изображений (оригинального и восстановленного) предусматривает сравнение взвешенных частот на уровне человеческого восприятия [135]. *Мерой структурного подобия* является метрика *SSIM (Structure SIMilarity)*, учитывающая «восприятие ошибки» [290] за счет учета структурного изменения информации.

В задачах распознавания (речи, изображений, лиц, мимики, жестов) на уровне признакового пространства традиционно используются метрики линейной алгебры, при этом ввиду заметной вычислительной простоты наибольшее распространение получило *Евклидово расстояние* [246, 282]. Для оценки качества распознавания применяются классические меры теории вероятностей (ошибки первого и второго рода, средняя ошибка распознавания и ее вероятностная мера) или основанные на них показатели точности (достоверности) [80, 211, 282, 288].

На основе анализа результатов исследования различных авторов и представленных данных можно сделать следующие выводы:

1) исследователи применяют различные метрики для решения разных телекоммуникационных и информационных задач;

2) решение указанных задач связано с представлением многомодальной информации в векторном пространстве и их оценкой на основе вводимых на них метрик;

3) оценка качества решения задач обработки (кодирования, распознавания и т. п.) сигналов отдельных модальностей преимущественно основана на метриках, вводимых теорией информации;

4) выявленные базисы служат основой метрик, формируемых с учетом восприятия человеком многомодальной информации.

Из вышеизложенного следует, что при синтезе ПИКС необходимо обосновывать выбор базовых метрик для решения конкретных задач обработки сигналов отдельных модальностей и единой универсальной метрики для оценки качества преобразования полимодальной информации.

2.2.6.2. Представление правила оценивания сигналов различных модальностей

Для определения последней воспользуемся понятием оптимальной оценки [195] и векторного пространства из теории линейной алгебры и функционального анализа. С учетом введенных обозначений допустим, что A – ненулевое векторное пространство и в нем задан базис $\{\vec{d}_i\}_{i \in m}$ на множестве m векторов. Тогда в A су-

существует такой алгебраический базис, заданный на множестве P , что m содержится в P ($m < P$).

Будем рассматривать N реализаций источника как множество точек, принадлежащих A , т. е. $\{\vec{A}_j\} \in A$, $\forall j = \overline{1, N}$, являющихся подпространством $\{\vec{A}\}_N$ в A . Тогда каждую реализацию источника можно представить линейной комбинацией базисных векторов в данном пространстве:

$$\vec{A}_j = \sum_{i=1}^m \vec{d}_i x_{ji}. \quad (2.16)$$

Такое представление реализаций источника будем называть его оценками. В векторном виде выражение (2.16) можно записать как

$$\vec{A}_j = [D] \vec{X}_j, \quad \forall j = \overline{1, N}, \quad (2.17)$$

где столбцы матрицы $[D]$ представляют собой базисные векторы в A ; \vec{X}_j – векторы коэффициентов разложения j -й оценки по данному базису.

Если элементы вектора \vec{X}_j заданы на множестве двоичных переменных, то оптимальную оценку можно рассмотреть как среднее используемых векторов базиса $[D]$ в виде выражения

$$\vec{A}_j = \frac{[D] \vec{X}_j}{\vec{X}_j^T \cdot \vec{1}}, \quad \forall j = \overline{1, N}. \quad (2.18)$$

Если задана функция потерь $\tilde{N}[\vec{A}_i, \vec{A}_i([D], \vec{X}_i)]$, $\forall i = \overline{1, N}$, то поиск оптимальной системы базисных векторов и оптимальных коэффициентов разложения можно осуществить путем ее минимизации по указанным параметрам:

$$\sum_{i=1}^N \tilde{N}[\vec{A}_i, \vec{A}_i([D], \vec{X}_i)] \rightarrow \min_{[D], \vec{X}_i, \forall i=1, N}. \quad (2.19)$$

Очевидно, что оптимальный базис $[D_{\text{opt}}]$, получаемый в результате решения задачи (2.19), является функцией от элементов $\{\vec{A}\}$ и множества коэффициентов разложения $\{\vec{X}\}$:

$$[D_{\text{opt}}] = f(\{\vec{A}\}, \{\vec{X}\}).$$

Основным преимуществом представления оптимальной оценки в виде выражения (2.18) является то, что данный подход к ее определению указывает путь практической реализации оптимальных систем обработки сигналов различных модальностей. В указанном случае последние реализуют две основные операции:

- поиска минимально необходимого количества базисных векторов $[D]_{P \times m}$ (задача поиска априорных данных);
- аппроксимации N последовательных реализаций источника, образующих подпространство мощности m на основе найденного оптимального базиса $[D]_{P \times m}$ и коэффициентов разложения векторов по данному базису.

Указанный подход к представлению сигналов различных модальностей позволяет рассматривать полученные коэффициенты разложения в качестве признаков модальностей при реализации различных полимодальных услуг.

2.2.7. Модели полимодальных услуг

В соответствии с установленными принципами построения ПИКС реализация телекоммуникационных услуг и полимодальных услуг осуществляется путем объединения сигналов различных модальностей (рис. 2.7) [19]. Объединение – это процесс, с помощью которого информация различных модальностей интегрируется в единый информационный поток (рис. 2.16):

- 1) на уровне признакового описания (*feature level*), называемом «ранним объединением» (*early fusion*);
- 2) уровне принятия решений (семантическом) (*decision level*), называемом «поздним объединением» (*late fusion*);
- 3) с использованием гибридного подхода [224].

В стратегии раннего объединения признаки $f_1 \dots f_N$ извлекаются из сигналов входных модальностей, объединяются в вектор $F_{1,N}$ и подаются в блок обработки, который формирует итоговое решение D . Примером применения данной стратегии является задача поиска лица на изображении, в которой в качестве признаков

используются цвет кожи и параметры характерных точек лица, а блок обработки представляет собой детектор лица (*Face Detection Unit*).

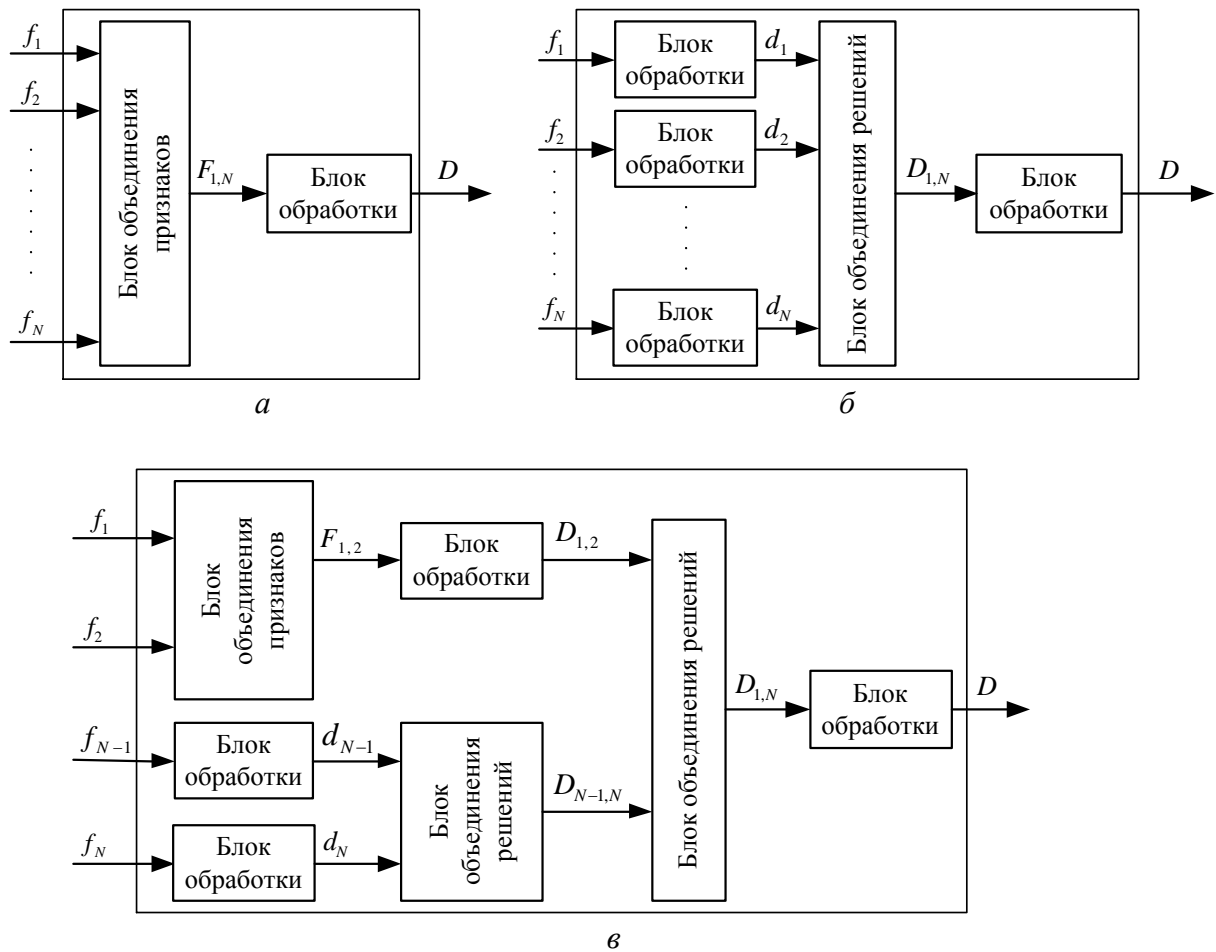


Рисунок 2.16 – Стратегии объединения полимодальной информации:

a – раннее; *б* – позднее; *в* – гибридное

При позднем объединении блоки обработки формируют локальные решения $d_1 \dots d_N$ на основе соответствующих признаков $f_1 \dots f_N$. Локальные решения объединяются в вектор $D_{1,N}$, на основе которого принимается итоговое решение D относительно решаемой задачи или выдвинутой гипотезы. Такой подход оправдывает себя при использовании распространенных методов анализа сигналов отдельных модальностей, например, скрытых Марковских моделей для акустических сигналов и метода опорных векторов для сигналов изображений, обеспечивая большую, чем при раннем объединении, гибкость обработки.

Стратегия гибридного объединения позволяет применять достоинства перечисленных выше подходов и используется многими исследователями (см. [19]) для решения различных проблем мультимедийного анализа.

Выбор стратегии объединения осуществляется в зависимости от реализуемой услуги, ограничений на способы ввода со стороны пользователя, а также предпочтительных методов объединения (рис. 2.17).



Рисунок 2.17. – Классификация методов объединения модальностей

Методы полимодального объединения (табл. 2.5), основанные на правилах (*Rule-based fusion methods*), включают ряд основных правил комбинирования модальной информации. Достоинством метода линейного взвешенного объединения является низкая вычислительная сложность, а к недостаткам следует отнести необходимость определения системы признаков и весовых коэффициентов для отдельных модальностей в каждой конкретной прикладной задаче. Мажоритарное правило (*Majority Voting Rule*) представляет собой особый случай взвешенной комбинации с равными весами. Оно реализует вывод итогового решения по большинству локальных.

Таблица 2.5 – Обзор работ в категории методов многомодального объединения, основанных на правилах

Метод объединения	Стратегия объединения	Авторы исследования и источник	Канал коммуникации (используемые признаки)	Решаемая задача
Линейное взвешенное объединение	Раннее	Foresti and Snidaro	Визуальный (координаты траектории перемещения)	Обнаружение и отслеживание людей на изображении
		Yang и др.		
		Wang и др.	Визуальный (цвет, движение и текстура)	Распознавание лиц
		Kankanhalli		
	Позднее	Neti и др.	Акустический (фонемы) и визуальный (виземы)	Распознавание диктора
		Lucey и др.	Акустический (мел-кепст-ральные коэфф.) и визуальный (особые точки губ)	Распознавание речи
		Iyenger и др.	Акустический (мел-кепст-ральные коэфф.), визуальный (коэфф. ДКП области лица) и синхронизация между ними	Детектирование монолога, определение семантики и аннотирование видео
		Hua and Zhang	Визуальный (гистограмма цветов, моменты цветов, вейвлеты и их блоки, коррелограммы)	Восстановление неподвижных изображений
		Yan и др.	Текстовый, акустический и визуальный (цвет, контуры, движение и гистограмма текстуры)	Восстановление подвижных изображений
		McDonald and Smeaton	Текстовый и визуальный (цвет, контуры и текстура)	
		Jaffre and Piquier	Акустический и визуальный	Идентификация пользователя
	МП	Radova and Psutka	Акустический (набор моделей речевого сигнала)	Идентификация пользователя
Определенные исследователем	Babaguchi и др.	Текстовый (ключевые слова) и визуальный (цвет)	Индексирование спортивного видео	
	Corradini и др.	Акустический (речь) и визуальный (2D жесты)	Человекомашинное взаимодействие	
	Holzappel и др.	Акустический (речь) и визуальный (3D жесты)	Человекомашинное взаимодействие	
	Pfleger	Акустический (речь) и визуальный (указания)		

Последняя группа правил включает в себя ряд частных решений, полученных исследователями эмпирически (*Custom-defined Rule*), что придает им большую гибкость по сравнению с другими методами, но делает узкоспециализированными (зависимыми от конкретной решаемой задачи). Категория методов объе-

динения, основанных на классификации (*Classification-based methods*), включает в себя ряд соответствующих технологий, используемых для отнесения наблюдаемой многомодальной информации к одному predetermined классу.

Практика применения метода опорных векторов (табл. 2.6) показала, что стратегия позднего объединения позволяет достичь лучших характеристик, но предъявляет повышенные требования к процессу обучения. Обоснование выбора стратегии объединения для решения конкретной прикладной задачи требует дальнейших исследований. Так, в методе, основанном на байесовском выводе (*Bayesian Inference*), многомодальная информация комбинируется согласно правилам теории вероятностей. При этом новые наблюдения или решения применяются для модификации априорных вероятностей, которые в свою очередь необходимы для вычисления апостериорных вероятностей гипотез. Кроме того, в отсутствие эмпирических данных рассматриваемый метод обеспечивает использование субъективных вероятностных оценок для априорных гипотез. Однако данные достоинства байесовского метода в некоторых случаях выступают в качестве его ограничений, так как требуется точное определение априорных и условных вероятностей гипотез. Метод, основанный на байесовском выводе, успешно применяется для объединения многомодальной информации при решении различных информационных задач (табл. 2.6) и разработке системы аудиовизуального распознавания речи. Несмотря на то, что метод объединения модальностей, основанный на теории Демпстера–Шафера (*Dempster-Shafer Theory*), позволяет находить решения для пересекающихся гипотез, вычислительная сложность его применения растет с ростом признакового пространства.

Методы объединения третьей группы (*Estimation-based methods*), главным образом, используются для лучшей оценки положения движущихся объектов на основе многомодальной информации. Преимуществами динамических байесовских сетей (ДБС, *DBN – Dynamic Bayesian Networks*) над остальными методами являются способность моделировать сложные зависимости между узлами и возможность простого интегрирования изменяющейся во времени многомодальной информации. Однако, несмотря на успешность применения этого инструментария

(табл. 2.6), одной из неразрешенных проблем предметной области до сих пор является достоверность определения состояний ДБС.

Таблица 2.6 – Обзор работ в категории методов объединения, основанных на классификации

Метод объединения	Стратегия объединения	Авторы исследования и источник	Канал коммуникации (используемые признаки)	Решаемая задача
Метод опорных векторов	Позднее	Adams и др.	Текстовый, акустический (мел-кепстральные коэфф.) и визуальный (цвет, структура и форма)	Определение семантики
		Iyenger и др.	Акустический и визуальный	
		Wu и др.	Акустический (речь) и визуальный (гистограммы цвета, ориентации контуров, вектора движения, текстура)	
		Aguilar и др.	Текстовый (подпись), визуальный (лицо) и тактильный (отпечатки пальцев)	Биометрическая верификация
		Bredin and Chollet	Акустический (мел-кепстральные коэфф.), визуальный (коэфф. ДКП области губ)	
	Гибридное	Wu и др.	Акустический и визуальный	Анализ мультимедиа
		Zhu и др.	Визуальный (цвет, размер, яркость, контраст)	Классификация изображений
		Ayache и др.	Текстовый и визуальный	Семантическая индексация
	Байесовский вывод	Раннее	Pitsikalis и др.	Акустический (мел-кепстральные коэфф.) и визуальный (форма и текстура)
Позднее		Meuer и др.	Акустический (мел-кепстральные коэфф.) и визуальный (контур губ)	Распознавание произносимых чисел
Гибридное		Xu and Chua	Текстовый, акустический и визуальный	Анализ спортивного видео
		Atrey и др.	Акустический (коэфф. линейного предсказания) и визуальный (расположение и площадь областей)	Распознавание событий при наблюдении

Продолжение табл. 2.6

Метод объединения	Стратегия объединения	Авторы исследования и источник	Канал коммуникации (используемые признаки)	Решаемая задача
Теория Демпстера–Шафера	Раннее	Mena and Malpica	Визуальный (координаты траекторий)	Сегментация изображений
	Позднее	Guironnet и др.	Акустический (фонемы) и визуальный (виземы)	Классификация видео
		Singh и др.	Акустический (мел-кепстр. коэфф.), визуальный (коэфф. ДКП . лица) и синхронизация между ними	Классификация отпечатков пальцев
		Reddy	Акустический (мел-кепстр.коэфф.) и визуальный (особые точки губ)	Человекомашинное взаимодействие
Гиб.	Bendjebbour и др.	Визуальный (координаты траекторий)	Сегментация изображений	
Динамические байесовские сети	Раннее	Wang и др.	Акустический (кепстральный вектор) и визуальный (гистограмма и признаки движения)	Классификация видеокадров
		Nefian и др.	Акустический (мел-кепстральные коэфф.), визуальный (коэфф. 2-D ДКП области губ)	Распознавание речи
		Nock и др.	Акустический (мел-кепстральные коэфф.), визуальный (коэфф. ДКП области губ)	Локализация говорящего
		Chaisorn и др.	Акустический (мел-кепстральные коэфф. и перцепт. признаки), визуальный (цвет, лицо, движение)	Сегментация новостного видео
		Adams и др.	Текстовый, акустический (мел-кепстральные коэфф.) и визуальный (цвет, структура и форма)	Классификация видеокадров
		Beal и др.	Акустический и визуальный	Слежение за объектом
		Bengio и др.	Акустический (мел-кепстральные коэфф.), визуальный (цвет и интенсивность признаков)	Биометрическая верификация
		Hershey и др.	Акустический (спектральные компоненты), визуальный (форма и расположение губ)	Локализация говорящего
		Zou and Bhanu, Noulas and Krose	Акустический (мел-кепстральные коэфф.), визуальный (изменение интенсивности пикселей)	Отслеживание людей на изображении
		Ding and Fan	Визуальный (распределение цветового пространства и угол линий разметки)	Классификация спортивного видео

Окончание табл. 2.6

Метод объединения	Стратегия объединения	Авторы исследования и источник	Канал коммуникации (используемые признаки)	Решаемая задача
Динамические байесовские сети	Позднее	Wu и др.	Визуальный (цвет, текстура и форма) + параметры камеры	Аннотация фотографий
		Town	Визуальный (лицо и характерные области) + сенсоры	Отслеживание людей
	Гибр.	Xie и др.	Текстовый, акустический (основной тон, паузы) и визуальный (гистограмма и интенсивность движения)	Рубрицирование видео
Нейронные сети	Раннее	Cutler and Davis	Акустический (фонемы) и визуальный (виземы)	Локализация говорящего
		Zou and Bhanu	Акустический (спектрограмма) и визуальный (характерные области)	Отслеживание людей на изображении
	Позднее	Gandello и др.	Визуальный, тактильный (активность пользователя) + загрузка центр. процессора и сети	Мониторинг активности человека
	Гибр.	Ni и др.	Визуальный	Распознавание изображений
ММЭ	Раннее	Magalhaes and Ruger	Текстовый и визуальный	Индексация неподвижных изображений

Несмотря на очевидное достоинство метода нейронных сетей (НС, *NN – Neural Networks*), заключающееся в возможности нелинейного отображения данных (пространства признаков) большой размерности, ему присущ ряд недостатков:

- 1) значительную сложность представляет выбор архитектуры сети для каждой конкретной задачи;
- 2) низкая скорость процесса обучения.

Модель максимальной энтропии (ММЭ, *MEM – Maximum Entropy Model*) представляет собой статистический классификатор, позволяющий с определенной вероятностью соотнести результаты наблюдений IM_i и IM_j (различного типа) с заданным классом X на основе содержащейся в них информации:

$$P(X | IM_i, IM_j) = \frac{1}{Z(IM_i, IM_j)} e^{F(IM_i, IM_j)},$$

где $F(IM_i, IM_j)$ – объединенный вектор признаков (или решений); $Z(IM_i, IM_j)$ – нормировочный множитель, обеспечивающий соответствующую вероятность. Обзор работ, описывающих данный метод, также представлен в таблице 2.6.

Фильтр Калмана (*Kalman Filter*) применяется для обработки в режиме реального времени изменяющихся низкоуровневых данных и на их основе обеспечивает оценки состояния систем. При этом для его работы необходимо знание только данных, полученных в предыдущем состоянии, что делает очевидным преимуществом метода малый объем требуемой памяти. Однако фильтр Калмана оказывается применим только для линейных систем. Для систем с нелинейными характеристиками известна его модификация, получившая название «расширенный фильтр Калмана» (*Extended Kalman Filter*). Варианты применения данных методов в АТ представлены в таблице 2.7.

Фракционные фильтры (*Particle Filter*) представляют собой набор эмпирических методов, известных также как методы Монте-Карло. Как правило, они используются для оценки распределений состояния нелинейных и негауссовских моделей и находят широкое применение в задачах анализа мультимедийных данных.

Проведенный анализ методов полимодального объединения позволяет сделать следующие выводы:

- наибольшую популярность среди других методов объединения многомодальной информации получили МОВ и ДБС;
- как правило, указанные методы используются на уровне объединения признаков;
- самым вычислительно сложным методом являются ДБС, наиболее простым – метод линейного взвешенного объединения;
- наиболее подходящими для решения проблем временных задержек и синхронизации являются методы, основанные на пользовательских правилах.

Таблица 2.7 – Обзор работ в категории методов объединения, основанных на оценках

Метод объединения	Стратегия объединения	Авторы исследования и источник	Канал коммуникации (используемые признаки)	Решаемая задача
Фильтр Калмана и его варианты	Раннее	Potamitis и др.	Акустический (позиция, скорость)	Определение положения нескольких дикторов
		Loh и др.	Акустический и визуальный	Определение положения диктора
		Gehrig и др.	Акустический (TDOA) и визуальный (позиция диктора)	
		Zhou and Aggarwal	Визуальный (пространственное положение, форма, цвет, характерные области)	Слежение за человеком (техникой)
	Позднее	Strobel и др.	Акустический и визуальный	Локализация и слежение за объектом
		Talantzis и др.	Акустический (DOA) и визуальный (позиция, скорость, размер цели)	Слежение за человеком
Фракционный фильтр	Раннее	Vermaak и др.	Акустический (TDOA) и визуальный (градиент)	Слежение за диктором
	Позднее	Zotkin и др.	Акустический (TDOA) и визуальный (цвет кожи, соответствие формы и гистограммы цвета)	Определение положения нескольких дикторов
		Perez и др.	Акустический (TDOA) и визуальный (координаты)	Определение положения диктора
		Nickel и др.	Акустический (TDOA) и визуальный (признаки преобразования Хаара)	

Важную роль при объединении различных модальностей играет корреляция между ними, которая может определяться на различных уровнях объединения с использованием соответствующих форм (табл. 2.8). Не только наличие корреляционных связей между отдельными модальностями, но и их независимость в отдельных случаях позволяют достичь лучших решений. Характерным примером являются диалоговые системы, использующие многомодальное человекомашинное взаимодействие. При их реализации важным является определение доверительных уровней для используемых каналов коммуникации [286].

Таблица 2.8 – Обзор работ, в которых в процессе объединения учитывается корреляция между различными многомодальными информационными потоками

Стратегия объединения	Форма корреляции	Авторы исследования и источник	Решаемая задача
Раннее	Коэффициент корреляции	Wang и др.	Классификация видеок кадров
		Nefian и др.	Распознавание речи
		Beal и др.	Слежение за объектом
		Li и др.	Распознавание «говорящего» лица
		Устинов	Стохастическое кодирование
	Полное количество информации	Fisher-III и др.	Распознавание речи
		Darrell и др.	
		Hershey and Movellan	Локализация говорящего
		Nock и др., Iyengar и др.	Детектирование монолога
		Nock и др.	Локализация говорящего
		Noulas and Krose	Слежение за диктором
	Латентный семантический анализ	Li и др.	Распознавание «говорящего» лица
		Chetty and Wagner	Биометрическая аутентификация
	Канонический корреляционный анализ	Slaney and Covell	Распознавание «говорящего» лица
		Chetty and Wagner	Биометрическая аутентификация
		Bredin and Chollet	Верификация «говорящего» лица
Кроссмодальный факторный анализ	Li и др.	Анализ «говорящей головы»	
Позднее	Анализ причинных связей	Stauffer	Распознавание событий при наблюдении
	Коэффициент согласия	Atrey et al.	

Степень доверия к коммуникативному каналу обычно определяется путем назначения ему соответствующего веса (характерным примером является линейное взвешенное объединение). Следует учесть, что веса отдельных модальностей могут варьироваться в зависимости от контекста и степени решения задачи, а их адаптация позволит достичь оптимальных результатов объединения. Несмотря на наличие некоторых результатов по данному направлению (табл. 2.9), вопрос динамического управления (адаптации) весовыми коэффициентами отдельных модальностей все еще остается открытым.

Таблица 2.9 – Обзор работ, в которых учитываются доверительные уровни в процессе их объединения

Режим управления	Авторы исследования и источник	Решаемая задача
Статический	Neti и др.	Распознавание диктора и речевых событий
	Iyenger и др.	Детектирование монолога
	Tatbul и др.	«Умная» военная форма
	Hsu and Chang	Анализ новостного видео
	Atrey и др.	Распознавание событий при наблюдении
Динамический	Tavakoli и др.	Распознавание событий в подводных сенсорных сетях
	Atrey и др.	Распознавание событий при наблюдении

При решении задач синтеза ПИКС в различных формах может быть использован контекст, относящийся к пользователю, окружающей среде и ситуации. Обзор работ по их применению при многомодальном объединении представлен ниже (табл. 2.10).

Таблица 2.10 – Обзор работ, в которых в процессе многомодального объединения используется контекст

Контекстная информация	Авторы исследования и источник	Решаемая задача
Текстовая информация об изображении	Westerveld	Восстановление изображений
Сигнатура или структура, лежащая в основе аудио, видео и транскрипции	Jasinski et al.	Сегментация телевизионных программ
Информация об окружающей среде и с датчиков	Wang, Atrey и др.	Распознавание событий при наблюдении
Прошлое входящее событие и состояние диалога	Pfleger	Распознавание намерений пользователя в многомодальных диалоговых системах
Время, позиция и параметры камеры	Wu и др.	Аннотирование фотографий

Сигналы различных модальностей обычно фиксируются в различных форматах и с различной скоростью, поэтому возникает проблема их синхронизации. Для ее решения необходимо получать и обрабатывать многомодальную информацию в строго определенные моменты времени, учитывающие характеристики (например скорость передачи) соответствующих потоков. Такие моменты (вре-

менные интервалы), минимизируя время выполнения задачи анализа, будут различаться в приложениях, использующих разные модальности. С другой стороны, длительность минимального временного интервала, необходимого для синхронизации модальностей, будет увеличиваться с возрастанием длины соответствующих сигналов.

Выбор модальностей в контексте мультимедийного анализа рассматривается рядом исследователей как оптимизационная задача, а для редукции вектора признаков, как правило, используются факторный анализ, сингулярное векторное разложение и линейный дискриминантный анализ. Некоторые вопросы фильтрации многомодальной информации от входного шума перед объединением рассмотрены в [289].

Анализ методов, моделей и алгоритмов объединения входных модальностей и существующих результатов их применения позволяет утверждать, что большинство проводимых исследований посвящено решению задач объединения многомодальной информации, представленной в виде текстовой модальности, аудио- и видеопотоков. Нерешенными при этом остаются следующие проблемы:

- 1) синхронизация отдельных модальностей в различных инфокоммуникационных приложениях;
- 2) динамическое определение оптимальных весовых коэффициентов различных модальностей;
- 3) моделирование и формализация процесса включения контекста при объединении многомодальной информации;
- 4) учет кроссмодальной корреляции при объединении информации на уровне принятия решений;
- 5) поиск совершенных методов распознавания по каждой модальности;
- 6) оптимальный выбор модальностей при их объединении, учитывающий изменяющийся контекст, состояние пользователя, окружающей и корпоративной сред.

При этом приведенный анализ четко указывает на перспективность реализации полимодальных услуг на основе существующих методов объединения многомодальной информации. В соответствии с основным предназначением ИКС

полученные результаты реализации указанных услуг (полимодалная информация) подлежат кодированию и передаче по СПД.

2.2.8. Модели кодирования полимодалной информации

Решение прямой и двойственной задач синтеза ПИКС требует разработки теоретических конструкций (моделей) для оценки качества передачи полимодалной информации при заданных ресурсах СПД и их объема, требуемого для передачи максимального числа сообщений различных модальностей с заданным качеством.

В связи с этим требуются глубокий всесторонний учет всех аспектов кодирования и передачи информации от источников различных модальностей и разработка соответствующих конструктивных методов, оптимизирующих системы передачи информации в целом.

Трудности решения данной проблемы обусловлены наличием множества случайных факторов, связанных, в первую очередь, с неопределенностью относительно свойств источника (источников) и канала связи.

2.2.8.1. Анализ существующих подходов к построению систем кодирования сообщений избыточных источников

В общем случае задача кодирования/декодирования связана с построением оптимальных процедур прямого/обратного преобразования ансамбля сигналов. Если размерность входного сигнала больше размерности сигнала на выходе кодирующего устройства, то имеет место случай сжатия информации [195]. Каждый сигнал на выходе кодирующего устройства опишем конечной последовательностью символов, представленных в виде вектора \vec{R} размерности m : $\vec{R} \in \{R^m\}$. По аналогии с пространством сообщений совокупность точек \vec{R} на входе канала свя-

зи будем рассматривать как пространство представления каждого сообщения источника $\{\vec{R}\}$ [184].

Использование понятий «пространство сообщений» и «пространство представления» позволяет рассматривать кодирование как отображение пространства сообщений $\{\vec{A}\}$ в пространство представления $\{\vec{R}\}$. В свою очередь, декодирование в терминах теории оценивания представляется как отображение из пространства наблюдения на выходе канала связи $\{\vec{R}\}$ в пространство оценок передаваемых сообщений $\{\hat{\vec{A}}\}$ (рис. 2.18). При этом пространство $\{\vec{R}\}$ определяется как отображение из $\{\vec{R}\}$ под влиянием канала связи.

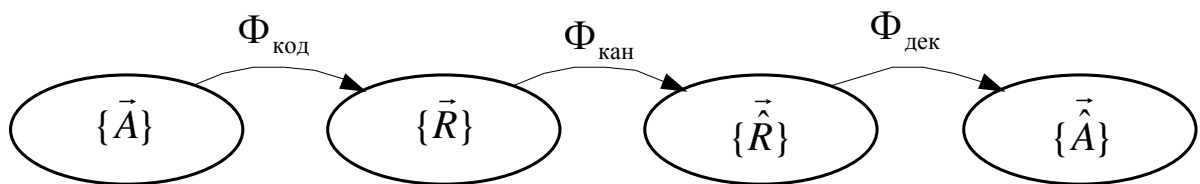


Рисунок 2.18 – Функциональная модель кодирования, передачи и декодирования информации:

$\Phi_{\text{код}}$ – отображение из пространства сообщений в пространство представления, определяемое кодером; $\Phi_{\text{кан}}$ – отображение из пространства представления на входе канала связи в пространство наблюдения на его выходе, определяемое свойствами канала; $\Phi_{\text{дек}}$ – отображение из пространства наблюдения в пространство оценок, определяемое декодером

Применение такого подхода к построению систем передачи информации дает возможность при введении некоторой функции потерь $C(\vec{A}, \hat{\vec{A}})$ решить задачу синтеза оптимальных систем кодирования, передачи и декодирования информации как задачу поиска оптимальных отображений $\Phi_{\text{код}}$ и $\Phi_{\text{дек}}$ при известном отображении $\Phi_{\text{кан}}$, минимизирующих условное математическое ожидание потерь

при передаче сообщения \vec{A} и известной плотности распределения вероятности $W(\vec{A})$ сообщения \vec{A} :

$$\int_{\{\vec{A}\}} C(\vec{A}, \Phi_{\text{дек}}[\Phi_{\text{кан}}(\Phi_{\text{код}}(\vec{A}))]) W(\vec{A}) d\vec{A} \rightarrow \min_{\Phi_{\text{дек}}, \Phi_{\text{код}}}. \quad (2.20)$$

Использование теории оценивания хотя и дает возможность решить задачу синтеза оптимальных систем кодирования и декодирования в виде (2.20), однако обладает следующими недостатками.

1. Отображение $\Phi_{\text{код}}$, реализуемое кодером, определяет детерминированное преобразование случайных сообщений источника, что не позволяет в полном объеме решать задачу согласования кодера, с одной стороны, с источником сообщений, плотность вероятности которого $W(\vec{A})$ с течением времени изменяется, а с другой – с каналом связи, свойства которого (описываемые функцией $W(\vec{R}/\vec{R})$) также с течением времени могут изменяться.

Таким образом, для найденных на этапе проектирования оптимальных $\Phi_{\text{код}}$ и $\Phi_{\text{дек}}$ в случае изменения $W(\vec{A}/\vec{R})$ единственным аргументом, которым может управлять детерминированный кодер для оптимального решения задачи (2.20), является самокодируемое сообщение. Как правило, при кодировании избыточных источников изменение входных сообщений возможно в незначительных пределах.

2. Представление кодирования, передачи и декодирования информации как последовательности отображений (рис. 2.19) не в полной мере соответствует процессу, наблюдаемому на практике. Действительно, функционал (2.20) определяет кодер и декодер как некоторые отображения, ими реализуемые, и не позволяет рассматривать их как систему, поведение которой характеризуется не только входными и выходными величинами, но и текущим состоянием, изменяющимся во времени. Следовательно, кодер, канал связи и декодер необходимо рассматривать как динамическую систему.

Для этого проанализируем подходы, основанные на моделях стохастического [195] и адаптивного [13-15, 18, 23, 25, 26, 228, 232] кодирования сообщений избыточного источника.

Под *стохастическими системами кодирования* понимаются [195] такие системы, у которых заданное входное значение не определяет однозначно выходное. При этом выходная величина уже при заданной входной принимает различные значения по некоторому вероятностному закону, т. е. является случайной величиной. Будем считать, что входная величина кодирующего устройства является также случайной. Тогда модель стохастической системы можно описать путем задания соотношений между входными и выходными величинами. Очевидно, что различие моделей кодера, канала связи и декодера заключается лишь в физической интерпретации входных и выходных величин.

Соотношение между ними может быть определено на основе вероятностного подхода:

$$\vec{R}_t = \Phi_{\text{код}}(\vec{S}_{kt}, \vec{A}_t, \vec{v}), \quad (2.21)$$

где \vec{R}_t – значение выходного процесса кодера в момент времени t ; \vec{S}_{kt} – состояние кодера в момент времени t ; \vec{A}_t – оценка t -го кодируемого сообщения; \vec{v} – независимый от \vec{A} случайный вектор, который определяет стохастический характер операции кодирования. В соответствии с выражением (2.21), если случайная величина принимает значения $\vec{v}_1, \vec{v}_2, \dots, \vec{v}_k$, выходная величина будет принимать значения $\vec{R}_1, \vec{R}_2, \dots, \vec{R}_k$ соответственно (рис. 2.19).

Примем гипотезу о том, что для каждого t -го кодируемого сообщения \vec{A}_t существует такое t -е множество допустимых представлений

$$\vec{A}_t \xrightarrow{\Phi_{\text{код}}} \{\vec{R}_t^{\text{дп}}\} = \{\vec{R}_{t_1}(\vec{v}_1), \vec{R}_{t_2}(\vec{v}_2), \dots, \vec{R}_{t_k}(\vec{v}_k)\},$$

для которого сформированные на его основе оценки удовлетворяют точностному критерию получателя:

$$C(\vec{A}_t, \vec{A}_{t_i}) \leq \Delta_{\text{доп}}, \quad \forall i = \overline{1, k}. \quad (2.22)$$

Такое множество оценок будем называть множеством инвариантных оценок t -го кодируемого сообщения:

$$\vec{A}_t \xrightarrow{\Phi_{\text{дек}}} \{\vec{A}_t^{\text{ио}}\} = \{\vec{A}_{t_1}, \vec{A}_{t_2}, \dots, \vec{A}_{t_k}\}.$$

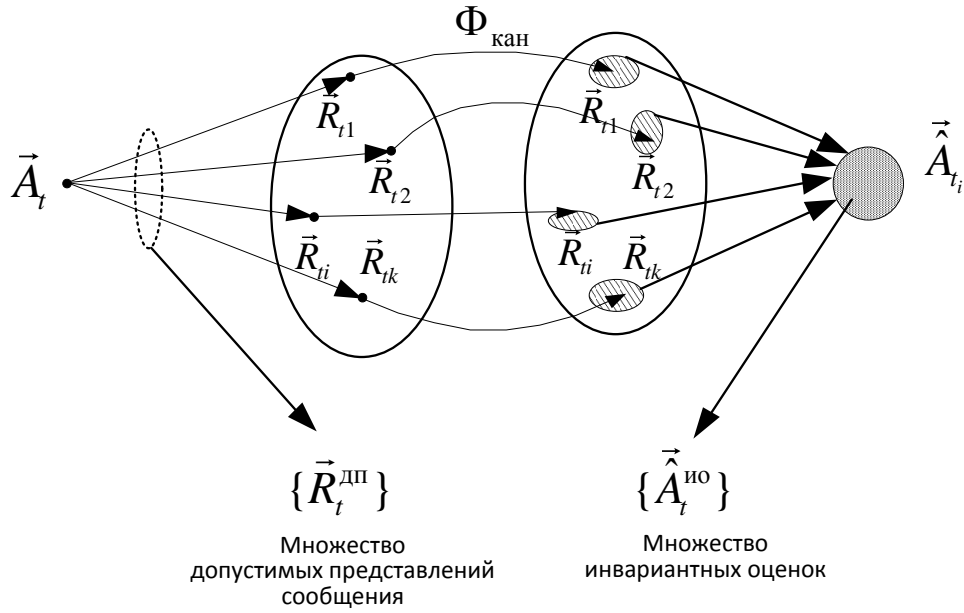


Рисунок 2.19 – Модель стохастического кодирования на основе использования вероятностного подхода

Таким образом, декодеру нет необходимости знать, какой именно случайный вектор \vec{v} при кодировании сообщения \vec{A} выбрал кодер, поскольку любое представление, принадлежащее множеству допустимых, будет отображаться декодером в оценку, удовлетворяющую критерию точности получателя выражения (2.22). Рассмотренную модель будем называть моделью стохастического кодирования и инвариантного декодирования, а в дальнейшем для сокращения – просто моделью стохастического кодирования.

Математическая модель стохастического кодирования может быть представлена в виде задачи с расширенным множеством управляемых параметров:

$$\int_{\{\vec{A}\}} C(\vec{A}, \Phi_{дек}[\vec{S}_d, \Phi_{кан}(\Phi_{код}(\vec{S}_k, (\vec{A}, \vec{v})))]) W(\vec{A}) d\vec{A} \rightarrow \min_{\Phi_{дек}, \Phi_{код}, \vec{S}_d, \vec{S}_k, \vec{v}},$$

где \vec{S}_d – состояние декодера.

Понятно, что оптимизация в процессе функционирования кодера и декодера на множестве состояний позволит учесть изменение статистических свойств источника, т. е. реализовать адаптацию к источнику сообщений. В то же время управление выбором конкретного представления из множества возможных позво-

лит учесть и другие аспекты передачи, а именно повышение криптостойкости, совместное кодирование нескольких источников, согласование с каналом связи. Подробно данные вопросы изложены в рамках метода стохастического кодирования, основные положения которого рассмотрены в [195].

Основу метода составляет представление реализаций источника $\{\vec{A}_j\} \in A$ в виде линейной комбинации базисных векторов в данном пространстве (п. 2.2.5.2). На его основе проведен анализ существующих алгоритмов кодирования (сжатия) речевых сообщений и видеоинформации.

Установлено, что в большинстве алгоритмов сжатия речевых сообщений осуществляется поиск оптимальной системы базисных векторов и коэффициентов разложения по данному базису. При этом поиск системы базисных векторов осуществляется априорно на этапе проектирования системы сжатия либо правило его формирования в процессе функционирования заранее predetermined, как в случае кодирования с линейным предсказанием. На этапе функционирования осуществляется только поиск коэффициентов разложения. Как и в случае кодирования речевых сообщений, алгоритмы сжатия видеоданных обычно используют не изменяемую в процессе функционирования систему базисных векторов. Исключение составляют лишь алгоритмы сжатия на основе вейвлет-преобразования и фрактальных методов сжатия. Первые применяют различные наборы вейвлет-функций, а во вторых синтез оптимального базиса осуществляется на основе кодируемого сообщения.

Все это говорит о том, что существующие алгоритмы сжатия речи можно рассматривать как алгоритмы со структурно-параметрической адаптацией.

В общем случае *адаптивные системы кодирования* (АСК) предназначены для эффективного сжатия сообщений избыточных источников в условиях априорной неопределенности в описании моделей объекта кодирования и внешних возмущений (внешней среды функционирования кодека), когда такая неопределенность существенно влияет на эффективность процесса кодирования и его результаты [13]. Возникновение априорной неопределенности, во-первых, происходит на стадии формирования математической модели речевого сигнала, адекватное

описание которой затруднено ввиду нестационарности речевого сигнала, а также математической модели «система кодирования – внешняя среда», лишь в некоторой степени соответствующей действительности. Во-вторых, априорная неопределенность обусловлена неконтролируемым, имеющим, как правило, случайный характер, изменением статических и динамических свойств источника сообщений и воздействий внешней среды на объект и систему кодирования в режиме реального времени.

В АСК недостаток априорной информации восполняется в процессе ее функционирования на основе текущих данных о поведении источника и характеристик внешней среды. Временная декомпозиция процедур эффективного сжатия сообщений на передающей (кодирования) и его восстановления на приемной стороне (декодирования) позволяет представить следующую модель функционирования АСК (рис. 2.20).

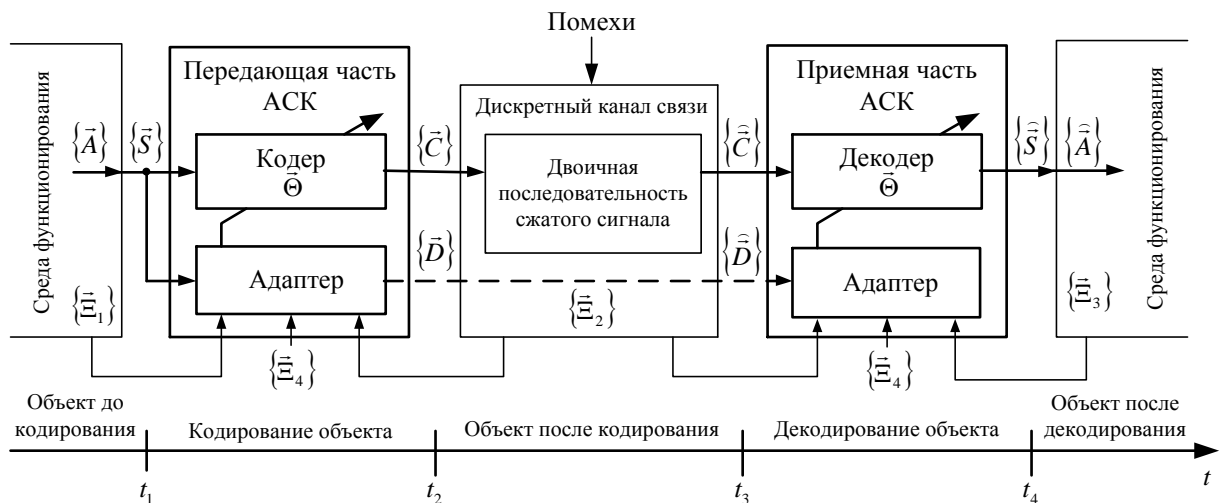


Рисунок 2.20 – Модель адаптивных процедур кодирования и декодирования

При этом процедуру адаптивного кодирования можно представить как процесс взаимодействия четырех подсистем:

- объекта – сообщения;
- настраиваемого регулятора основного контура – кодера;
- блока (устройства) адаптации – адаптера [26];
- внешней среды функционирования системы кодирования.

При рассмотрении процедуры декодирования в качестве регулятора выступает декодер.

В АСК каждое кодируемое сообщение из пространства $\{\vec{A}\}$ представляется своей оценкой $\hat{A} \in \{\hat{A}\}$ в виде отношения кодируемых параметров $\vec{C} \in \{\vec{C}\}$ в соответствии с заданным алгоритмом кодирования (декодирования), зависящим от некоторого набора внутренних (настраиваемых) параметров $\{\vec{\Theta}\}$ кодера (декодера). Существенно, что представлению в виде кодируемых параметров подлежит зашумленное сообщение $\vec{S} \in \{\vec{S}\}$, а декодированное сообщение $\hat{S} \in \{\hat{S}\}$, прежде чем попасть к абоненту, претерпевает изменения в среде функционирования (например акустическом канале) на приемной стороне.

Настройка параметров кодера (декодера) производится адаптером в соответствии с некоторым законом, называемым алгоритмом адаптации, на основе доступной текущей информации об источнике сообщений $\vec{S} \in \{\vec{S}\}$ и характеристиках $\vec{\Xi} \in \{\vec{\Xi}\}$ среды функционирования кодека с целью минимизации (максимизации) выбранного критерия качества. В качестве такого критерия при фиксированной скорости кодирования обычно выбирается степень близости исходного \vec{A} и восстановленного \hat{A} сообщений $D[\vec{A}, \hat{A}]$.

Множество $\{\vec{\Xi}\}$ возможных значений параметров (возмущений) внешней среды функционирования в общем случае образовано декартовым произведением подмножеств параметров среды функционирования (рис. 2.21):

$$\{\vec{\Xi}\} = \{\vec{\Xi}_1\} \times \{\vec{\Xi}_2\} \times \{\vec{\Xi}_3\} \times \{\vec{\Xi}_4\},$$

где $\{\vec{\Xi}_1\}$, $\{\vec{\Xi}_3\}$ – подмножество характеристик среды функционирования, влияющих на сообщение до кодирования и после декодирования соответственно (например вероятностно-временные характеристики акустического шума); $\{\vec{\Xi}_2\}$ – подмножество характеристик среды функционирования, влияющих на передаваемое

мые параметры сообщения после кодирования (например вероятностно-временные характеристики помех в канале связи); $\{\bar{\Xi}_4\}$ – подмножество характеристик, оказывающих влияние непосредственно на АСК (например законы распределения пропускной способности при мультисервисном обслуживании абонента и при многоабонентском использовании СПД).

Синтез АСК осуществляется обычно на основе известной расчетной модели сообщения, когда имеется полная информация о его собственных статических и динамических свойствах и воздействиях внешней среды на объект и систему кодирования. При этом расчетная модель адекватна реальному источнику сообщений во времени и по всем воздействиям. Под полнотой информации подразумевается также знание возможных изменений свойств объекта и воздействий, т. е. эти изменения контролируемы и могут быть измерены. Если же они неконтролируемы, то при определенных допущениях и известных границах неконтролируемых изменений свойств объекта и воздействий в принципе можно обеспечить пониженную (в пределе – нулевую) чувствительность к этим изменениям свойств системы кодирования. Такие системы принято называть робастными.

В тех случаях, когда нельзя гарантировать малость неконтролируемых изменений (вызванных возмущениями $\{\bar{\Xi}_1\}$, $\{\bar{\Xi}_2\}$, $\{\bar{\Xi}_3\}$) свойств объекта, обычные и робастные системы уже не удовлетворяют требуемым показателям качества и вообще могут стать неработоспособными. Тогда на основе дополнительной информации $\{\bar{\Xi}\}$ о состоянии системы и внешней среды, получаемой с помощью включенных в первоначальную структуру системы кодирования процедур, целенаправленно и автоматически корректируются ее динамические свойства $\bar{\Theta}$. При этом задача кодирования считается решенной, если после коррекции система вновь удовлетворяет желаемым требованиям и инвариантна к неконтролируемым возмущениям $\{\bar{\Xi}\}$.

Системы кодирования, в которых осуществляются оптимальные по выбранному критерию качества кодирование и декодирование сообщения с неконтроли-

руемыми изменениями его свойств и параметров внешних возмущений, для чего с помощью специальных процедур (алгоритма адаптации) автоматически и целенаправленно корректируются свойства всей системы, будем называть адаптивными [13]. Это нестрогое определение понятия адаптивных систем требует уточнения в каждом конкретном случае. Так, применительно к предложенной модели система кодирования должна привести к выполнению поставленных задач кодирования и декодирования для любого вектора неизвестных параметров $\vec{\xi} \in \{\vec{S}\} \cup \{\vec{\Xi}\}$. Если это условие выполнено, то система кодирования называется адаптивной.

С учетом введенных обозначений задача кодирования (передающей части АСК) заключается в следующем: на основе анализа множества реализаций $\vec{S} \in \{\vec{S}\}$ и адаптации к параметрам передаваемых сообщений $\{\vec{A}\}$ и характеристикам внешней среды $\{\vec{\Xi}_{\text{код}}\}$ сформировать множество кодируемых параметров $\{\vec{C}\}$:

$$\Phi_{\text{код}} : \left(\left\{ \vec{S} \right\}, \left\{ \vec{A} \right\}, \left\{ \vec{\Xi}_{\text{код}} \right\} \right) \xrightarrow{\{\vec{\Theta}\}} \left\{ \vec{C} \right\},$$

где $\{\vec{\Xi}_{\text{код}}\} = \{\vec{\Xi}_1\} \times \{\vec{\Xi}_2\} \times \{\vec{\Xi}_4\}$.

В свою очередь, приемная часть будет восстанавливать сигнал в виде:

$$\Phi_{\text{дек}} : \left(\left\{ \vec{C} \right\}, \left\{ \vec{D} \right\}, \left\{ \vec{\Xi}_{\text{дек}} \right\} \right) \xrightarrow{\{\vec{\Theta}\}} \left\{ \vec{A} \right\},$$

где $\{\vec{\Xi}_{\text{дек}}\} = \{\vec{\Xi}_2\} \times \{\vec{\Xi}_3\} \times \{\vec{\Xi}_4\}$; $\{\vec{D}\}$ – служебная информации о параметрах (алгоритмах, структурах) адаптации, получаемая по основному или дополнительному каналу связи [35].

Наличие множества параметров передаваемых сообщений различных модальностей и внешней среды функционирования, под которые адаптируется АСК, дает основание отнести ее к многопараметрической. Тогда обобщенная постановка задачи синтеза АСК с многопараметрической адаптацией может быть сформулирована следующим образом: на основе анализа множества реализаций $\{\vec{S}\}$ и адаптации к параметрам передаваемых сообщений $\{\vec{A}\}$ и характеристикам внеш-

ней среды $\{\bar{\Xi}_{\text{код}}\}$ найти отображение $\Phi_{\text{код}}$, определяющее оптимальное множество $\{\bar{C}\}$, и отображение $\Phi_{\text{дек}}$, устанавливающее правило восстановления сообщений на основе принятых из канала связи данных о кодируемом сообщении $\{\hat{C}\}$, параметрах (алгоритме) адаптации $\{\hat{D}\}$ и среде функционирования АСК $\{\bar{\Xi}_{\text{дек}}\}$.

Формально данная задача в условиях идеального канала связи приобретает вид традиционной задачи сжатия и может быть записана в виде:

$$D\left[\{\bar{A}\},\{\hat{A}\}\right] = D\left[\{\bar{A}\},\Phi_{\text{дек}}\left(\Phi_{\text{код}}\left(\{\bar{S}\},\{\bar{A}\},\{\bar{\Xi}_{\text{код}}\}\right),\{\bar{D}\},\{\bar{\Xi}_{\text{дек}}\}\right)\right] \rightarrow \min_{\Phi_{\text{код}},\Phi_{\text{дек}}} . \quad (2.23)$$

С учетом влияния канала связи $\Phi_{\text{кан}}$ выражение (2.23) можно представить в виде:

$$D\left[\{\bar{A}\},\{\hat{A}\}\right] = D\left[\{\bar{A}\},\Phi_{\text{дек}}\left(\Phi_{\text{кан}}\left(\Phi_{\text{код}}\left(\{\bar{S}\},\{\bar{A}\},\{\bar{\Xi}_{\text{код}}\}\right),\{\bar{D}\}\right),\{\bar{\Xi}_{\text{дек}}\}\right)\right] \rightarrow \min_{\Phi_{\text{код}},\Phi_{\text{дек}}} ,$$

которое и будет представлять собой обобщенную задачу синтеза АСК с многопараметрической адаптацией.

Проведенный анализ условий функционирования существующих речевых и видеокодеков в системах связи, методов и алгоритмов кодирования речевого сигнала и изображений свидетельствует о возможности осуществления многопараметрической адаптации процедур кодирования сообщений различной модальности, что соответствует общей тенденции возрастания доли адаптивных процедур обработки сигналов в современных инфокоммуникационных системах [18].

2.2.8.2. Математические модели подсистемы кодирования сообщений различных модальностей

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. С учетом существующих моделей рече-

вых и видеокодеков, теоретико-множественная модель системы кодирования с многопараметрической адаптацией может быть представлена следующим образом (рис. 2.21) [25].

Модель основана на предположении, что коммуникативный акт абонентов происходит с обязательным использованием вербального речевого канала. Рассматривается параметрическое кодирование избыточных сообщений, соответствующее предложенному универсальному представлению сигналов различных модальностей в виде (2.18).

Входом подсистемы кодирования (рис. 2.22) являются множества $\{\vec{A}_w\}$, $w = \overline{1, W}$ реализаций сообщений источников различных модальностей. К ее внутренним параметрам относятся:

- 1) число W источников (модальностей);
- 2) количество K_w , $w = \overline{1, W}$ значений случайной величины, описывающей w -й источник сообщений на интервале анализа T_A ;
- 3) вид отображений параметрического анализа $\Gamma_{ПА}$, определяемый вариантом формирования, комбинирования и отображения множества параметров \vec{X}_w анализируемых сообщения \vec{A}_w ;
- 4) число p_w , $w = \overline{1, W}$ и вид представления кодируемых параметров $\vec{X}_{w,j}$, $j = \overline{1, p_w}$ источников многомодальной информации;
- 5) вид отображений $\Gamma_{Кw,j}$, $w = \overline{1, W}$, $j = \overline{1, p_w}$, определяющих процедуры квантования наблюдаемых параметров источников многомодальной информации;
- 6) число уровней квантования o_j каждого ($j = \overline{1, p_1 + \dots + p_w}$) наблюдаемого параметра источников информации, определяющих мощности подмножеств кодированных параметров $\{C_j\}$ на входе СПД;
- 7) вид отображения статистического анализа $\Gamma_{СА}$, определяющего процедуру классификации исходных сообщений W источников;

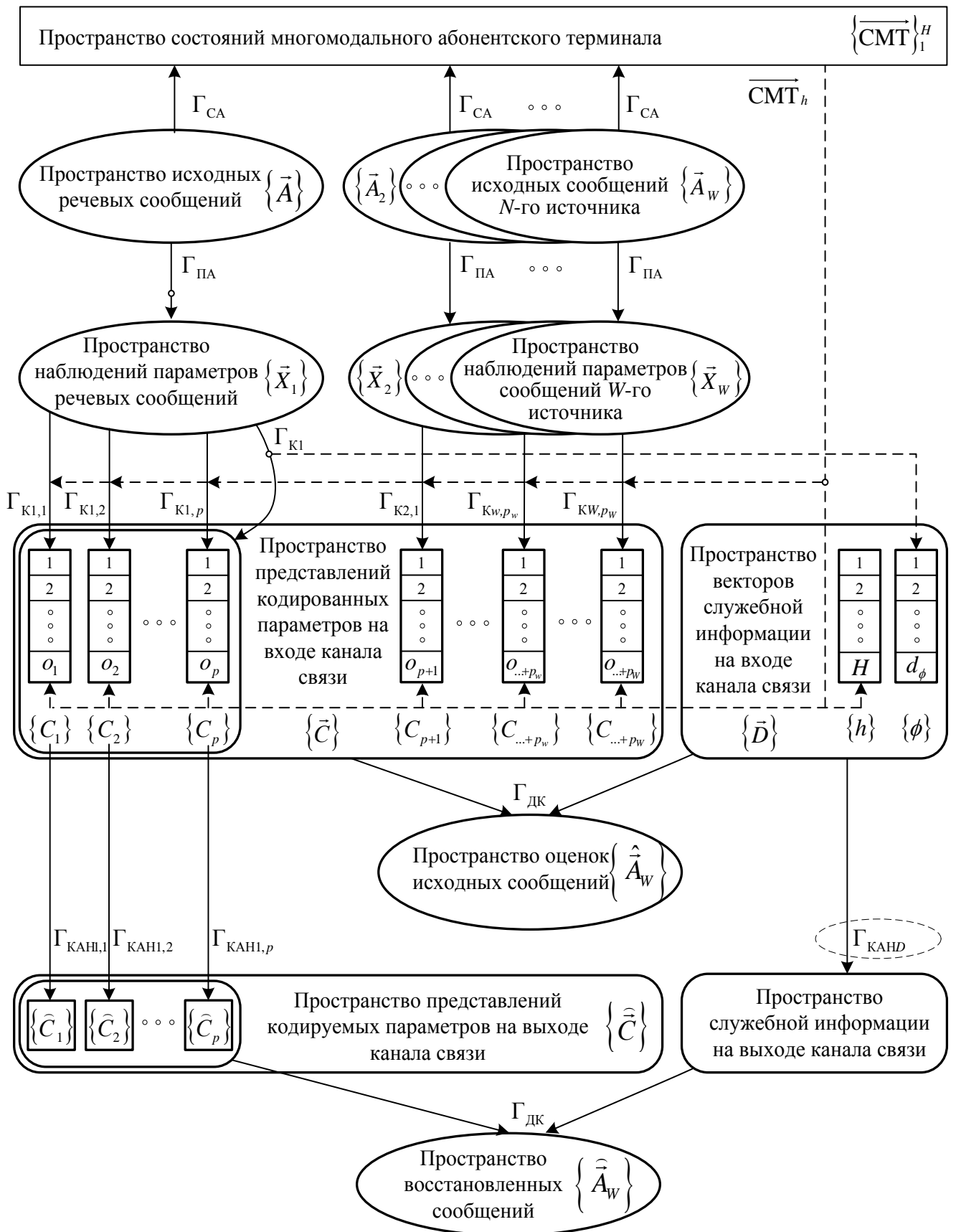


Рисунок 2.21 – Теоретико-множественная модель подсистемы кодирования сообщений различных модальностей

8) число H состояний абонентского терминала $\{\overline{\text{СМТ}}\}$, определяющих множество вариантов распределения информационной емкости канала связи по множествам кодируемых параметров W источников, где

$$\{\overline{\text{СМТ}}\} = \{No_{\Gamma_{K1,1}}\} \times \dots \times \{No_{\Gamma_{K1,p}}\} \times \dots \times \{No_{\Gamma_{KW,1}}\} \times \dots \times \{No_{\Gamma_{KW,pW}}\} \times \\ \times \{o_1\} \times \dots \times \{o_p\} \times \dots \times \{o_{p_1+\dots+p_{W-1}+1}\} \times \dots \times \{o_{p_1+\dots+p_W}\},$$

где $No_{\Gamma_{Kw,j}}$ – номер возможного отображения $\Gamma_{Kw,j}$, $w = \overline{1, W}$, $j = \overline{1, p_1 + \dots + p_W}$.

Значения $o_j = 1$ обеспечивают возможность исключения j -х подпространств из структуры пространства кодируемых параметров. В частном случае однозначного соответствия значений o_j и отображений $\Gamma_{Kw,j}$ множество

$$\{\overline{\text{СМТ}}\} = \{o_1\} \times \dots \times \{o_p\} \times \dots \times \{o_{p_1+\dots+p_{W-1}+1}\} \times \dots \times \{o_{p_1+\dots+p_W}\}.$$

Для высокоадаптивной системы число возможных состояний абонентского терминала может быть бесконечно большим: $H = |\{\overline{\text{СМТ}}\}| = \infty$.

С учетом искажений, получаемых при кодировании, и влияния канала связи, задаваемого отображением Γ_{KAN} , при известном отображении Γ_{DK} , однозначно определяющем процедуру декодирования, математическое описание всей подсистемы кодирования относительно внешнего параметра, характеризующего качество кодирования сообщений различных модальностей, может быть представлено в следующем виде:

$$D_{\text{сум}} = \sum_{w=1}^W \left(\frac{D_w \left[\left\{ \vec{A} \right\}, \left\{ \hat{A} \right\} \right]}{P_{C_w}} + \sigma \sum_{q=1}^W \left(\frac{D_w \left[\left\{ \vec{A} \right\}, \left\{ \hat{A} \right\} \right]}{P_{C_w}} - \frac{D_q \left[\left\{ \vec{A} \right\}, \left\{ \hat{A} \right\} \right]}{P_{C_q}} \right)^2 \right), \quad (2.24)$$

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; σ – 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.

Представленный выше перечень внутренних параметров подсистемы кодирования сообщений различных модальностей позволяет сформулировать математическую модель такой системы относительно внешнего параметра – скорости передачи (выдачи информации):

$$B_{(w)} = \frac{\log \prod_{w=1}^W \prod_{j=p_{w-1}+1}^{p_w} o_j + r + \log d_\phi + \log H}{T_A} \text{ бит/с}, \quad (2.25)$$

где $r = \left\lceil \log_2 \left(1 + \sum_{i=1}^{t_{\text{И}}} C_n^i \right) \right\rceil$ – число проверочных разрядов, а $t_{\text{И}}$ – исправляющая способность помехоустойчивого кода; C_n^i – число сочетаний из n по i ; $d_\phi = |\{\phi\}|$ – мощность подпространства $\{\phi\} \in \{\vec{D}\}$, характеризующего множество вариантов помехоустойчивого кодирования.

Для подсистемы кодирования с одним источником информации скорость передачи:

$$B_{(1)} = \frac{\log \prod_{j=1}^p o_j + r + \log d_\phi}{T_A} \text{ бит/с}. \quad (2.26)$$

Выражения (2.25) и (2.26) позволяют определить номенклатуру скоростей B_j и рассчитать величину ЕКР (1.19). Оценки скоростей B_j для различных наборов модальностей приведены в п. 3.3.

Таким образом, полученные формализмы позволяют определить важные внутренние функциональные характеристики СПД с учетом закономерностей передачи блоков данных, соответствующих активным модальностям. Следовательно, разработанные модели способствуют достижению поставленных выше целей исследования.

Выводы по второму разделу

1. Формализованный анализ различных концепций построения инфокоммуникационных систем показал, что потенциально наибольшей адаптивностью к изменяющимся условиям деятельности субъектов ИнфП обладает полимодальная ИКС, архитектура которой подразумевает использование многомодальных абонентских терминалов и высокопроизводительной сети передачи данных. Наряду с этим достоинством такой ИКС свойственна минимизация барьеров межличностной коммуникации, функциональная полнота в плане передачи эмоций, потребностей и актуального состояния привилегированных пользователей.

2. Рассмотрены понятия и модели различных модальностей, исследована специфика обработки различных модальностей в ходе их передачи через технические средства. Сформулированы принципы полимодальности ИКС, которые позволили разработать иерархическую (мета-, макро- и субуровня) систему моделей распределенных ПИКС, предназначенную для оценки ее внутренних и внешних функциональных характеристик. Эти модели учитывают современный уровень развития компонентной базы, специфику совместной передачи сигналов различных модальностей в одном сетевом тракте и являются обобщением известных моделей инфокоммуникационных систем.

3. Разработанные формализмы ПИКС имеют различное назначение, степень детализации и реализуют комбинирование структурно-функционального и функционально-структурного подходов. Так концептуальная модель использует инструментарий когнитивных карт, особенно полезный на метаровне исследований для анализа действия трудно формализуемых факторов, измерение которых часто является очень сложной проблемой. Макромодель ПИКС сформирована в рамках глобального подхода ФСП и базируется на стратах теории множеств. Модели структур программно-математического и информационного обеспечения и управления абонентского терминала, напротив, использует представление в виде графов. Модели кодирования сигналов модальностей относятся к субуровню исследова-

дований и позволяют актуализировать теоретические модели более высоких уровней к современной ступени развития компонентной базы и технологий СПД.

4. В иерархической системе моделей отдельной нетривиальной задачей становится согласование входных и выходных параметров получаемых формализмов, чему способствует строгая система принципов полимодальности ПИКС и применение на метауровне исследований глобального подхода к моделированию. В условиях отказа от предоставления традиционных услуг связи в пользу применения у субъектов ИнфП многомодальных интерфейсов это позволяет от высшего уровня исследований, через модели полимодальных услуг до моделей обработки сигналов различных модальностей обеспечить взаимосвязь метрик.

5. Освоение нового комплексированного подхода к моделированию ПИКС на различных уровнях, включая страты обработки, передачи, приема и комбинирования сигналов разных модальностей, потребовали отдельного рассмотрения вопросов синхронизации сигналов модальностей. Формализация этого аспекта функционирования ПИКС привела к необходимости рассмотрения свойств многомодальных абонентских терминалов во взаимосвязи с процессами во взаимодействующих элементах ИКС, параметры передачи соответствующих модальностям блоков данных с физической структурой сети передачи данных, что отразилось в оригинальной теоретико-множественной модели подсистемы кодирования сообщений различных модальностей.

6. В условиях отказа от предоставления традиционных услуг связи в пользу применения у субъектов ИнфП многомодальных интерфейсов показано увеличение числа свобод внутренних функциональных характеристик ПИКС на макро- и субуровнях исследования. Следовательно, дальнейшая разработка научно-методического аппарата синтеза (оптимизации ФХ) ПИКС будет осложнена изысканием путей снижения вычислительной сложности решения вновь возникающих задач обеспечения заданного качества обслуживания субъектов ИнфП, различающихся степенью детализации и размерностью моделей, составом системы ограничений и критериями, способов задания стартовой точки оптимизации ФХ.

Раздел 3. МЕТОД СИНТЕЗА ПОЛИМОДАЛЬНОЙ ИНФОКОММУНИКАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

В настоящем разделе на базе иерархической (мета-, макро- и субуровня) системы моделей, предложенной в разделе 2, разрабатывается метод синтеза распределенной полимодальной инфокоммуникационной системы. В основе метода заложен глобальный подход и многоэтапная процедура оптимизации. На первом этапе осуществляется формирование множества допустимых системотехнических решений построения ПИКС на основе макромоделей, позволяющее произвести декомпозицию требований метасистемы по подсистемам ПИКС и в общем виде обосновать начальную структуру ПМИО ее АТ (подраздел 3.1). На втором этапе решения, полученные на макромоделей, уточняются посредством применения методик и алгоритмов синтеза (оптимизации) физической структуры ПИКС (подраздел 3.2). В разделе 3.3 представлены способы оптимизации функциональных характеристик аппаратно-программных средств ПИКС. Вопросы, рассмотренные в настоящем разделе, нашли отражение в [13, 24, 26, 27, 30, 35, 42, 44, 51, 53-58, 79, 180, 230].

3.1. Методологические основы применения моделей различной размерности и точности в едином оптимизационном цикле при синтезе полимодальной инфокоммуникационной системы

При проектировании ИКС неизбежно возникают противоречия между желанием быстрого внедрения системы и получения требуемого эффекта (1.5) при приемлемых затратах (1.6), возможностью создавать систему традиционными методами и стремлением к принципиально новому подходу исходя из сущности ПИКС. Формальный анализ закономерностей предметной области (раздел 1) и сформированная в разделе 2 иерархическая (мета-, макро- и субуровня) система моделей способствовала разработке нового подхода к решению задачи синтеза (оптимизации ФХ) ПИКС. В основе предлагаемого метода заложены принципы:

глобальности, иерархичности и аналитичности (п. 2.2.1);

контролируемости энергетических, информационных и динамических ограничений (п. 2.1);

системности, предполагающий изучение системы и ее поведения как единого объекта, выполняющего определенные функции в конкретных условиях, с учетом взаимодействия и взаимного влияния отдельных частей, оказывающих наиболее существенное влияние на достижение конечных целей.

многоэтапности, базирующийся на применении комплекса различных по точности моделей [4, 7, 65, 67, 68, 113, 117, 136, 164, 205], причем выходные результаты каждого очередного этапа оптимизации являются начальными условиями поиска для последующего этапа.

3.1.1. Многоэтапность и иерархичность процедуры синтеза полимодальной инфокоммуникационной системы

Системный подход применяется на различных этапах синтеза, к основным из которых относятся [27, 85, 86, 105, 127]:

- формирование множества системотехнических решений (требования, состав, физическая и логическая структуры, профиль протоколов, методология проектирования, включая обоснование системных требований и их дифференциацию по составным частям системы, методы моделирования и проведения испытаний)

- синтез структур ПМИО и управления АТ;

- синтез СПД;

- выбор аппаратных (технических) и программных средств для построения ПИКС и оптимизация их характеристик.

Принцип многоэтапности позволяет свести задачу синтеза ПИКС (1.24) к задаче математического программирования или их последовательности в рамках стратегии нисходящего проектирования [4, 65, 67, 74, 117, 126, 129, 179, 188], реализуемой в рамках этого исследования следующей многоэтапной процедурой (рис. 3.1).

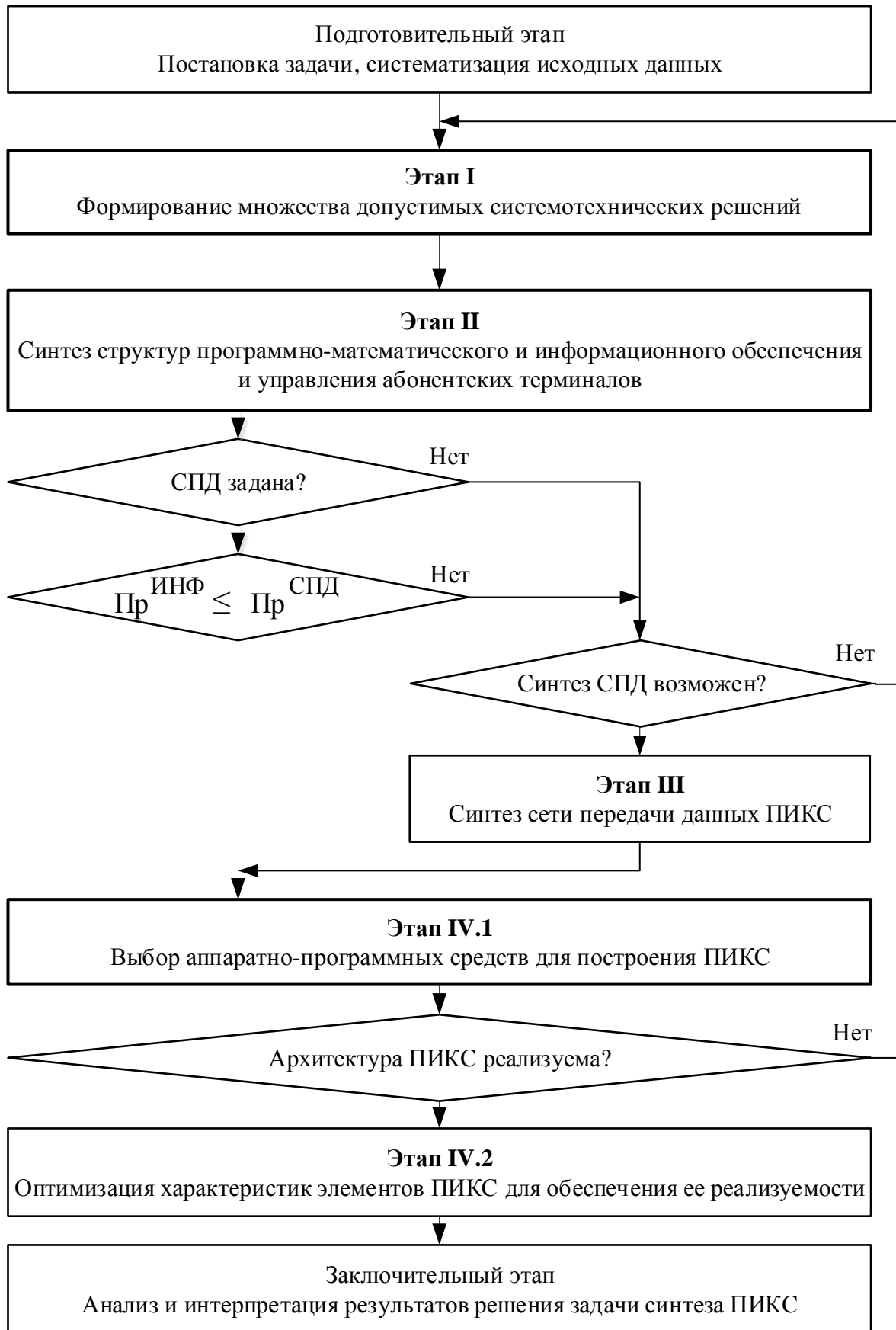


Рисунок 3.1 – Структура метода синтеза ПИКС

Предполагается, что имеются конечное (и относительно небольшое) множество телекоммуникационных (п. 1.2.3) и информационных (определение семантики сообщений, направления взгляда и положения тела, чтение по губам, распознавание речи, лиц, мимики и жестов) технологий, значительно большее, но конечное множество их программно-аппаратных реализаций (абонентские и сетевые устройства сетей доступа, маршрутизаторы и коммутаторы различного назначения, средства криптографической защиты информации, криптомаршрутизаторы, мультиплексоры и т. д.) и практически бесконечное множество системных решений.

При большом многообразии программно-аппаратных реализаций, способных обеспечить выполнение системных требований и максимизировать внешнюю эффективность ПИКС, возникает проблема их рационального выбора. Существующие и создаваемые программно-аппаратные средства характеризуются целым рядом различных показателей, которые различным образом могут влиять на структуру и принципы организации обмена полимодальной информацией.

Таким образом, **на первом этапе** решается задача выбора рациональных системотехнических решений с использованием концептуальной модели – мета-модели ПИКС. Для устойчивого поиска допустимых элементов множества Δ_g (1.23) применена модель анализа когнитивных карт, основанная на линейной алгебре. Ограничение области поиска и соответствующие этому снижение 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 информационно-алгоритмической структуры ПИКС второго этапа.

На втором этапе осуществляется уточнение полученных структур на графо-матричных моделях. Обеспечивается выполнение требований к ПИКС по своевременности и быстрдействию за счет решения задачи целочисленного программирования при синтезе структур ПМИО АТ и задачи об оптимальной иерар-

хии при синтезе структуры управления АТ ПИКС. Могут применяться как существующие, так и вновь создаваемые в ходе исследований методики и алгоритмы решения таких задач. Снижение общей размерности задачи достигается за счет отбрасывания альтернатив, не отвечающих требованиям физической реализуемости на современном этапе развития технологий. Данные, полученные по итогам второго этапа метода, используются в качестве начальных условий решения задач оценки минимального объема канального ресурса при передаче сигналов различной модальности и синтеза СПД.

На третьем этапе производится синтез физической структуры СПД и ее параметров 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 [179]. 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 выбор аппаратно-программных средств реализации ПИКС, необходимых для обеспечения реализуемости заданных показателей эффективности и других средств адаптации АТ под изменяющиеся требования абонентов к номенклатуре и качеству услуг. Оптимизация абонентских терминалов 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 (или ПИКС).

Таким образом, в рамках принятого подхода к решению проблем практики и теории предлагается новый метод [27, 30, 230] синтеза полимодальной инфокоммуникационной системы. Последовательное использование различающихся степенью обобщения и адекватности моделей позволяет поддерживать несколько уровней детализации и этапов проработки проекта ПИКС, устраняя ряд известных недостатков традиционных подходов.

3.1.2. Формирование множества допустимых системотехнических решений на основе когнитивного моделирования полимодальной инфокоммуникационной системы

Выбор оптимальных проектных решений ИКС является нетривиальной задачей, а "представление о наилучшем решении..." на этапе концептуального проектирования и/или планирования инфраструктуры "...неоднозначно и противоречиво" [205]. У проектировщика ПИКС часто остается известная степень свободы, позволяющая оперировать в пространстве множества альтернатив.

С учетом принятой декомпозиции (п. 1.3.3) при реализации принципа мультисервисности (п. 2.1.3) задача синтеза ПИКС заключается в формировании множества структурных альтернатив и соответствующего множества параметров $\bar{\alpha}_g \subset \Delta_g$, которые при удельной себестоимости $\zeta^{\text{СПД}}$ СПД (1.26) и ограничении приведенных затрат на обработку информации $C_{\text{пр}}^{\text{ИНФ}} \leq C_{\text{пр}}^{\text{ИНФ доп}}$ обеспечивали требуемую целостность информации (1.18).

На целостность полимодальной информации влияют следующие факторы (п. 2.2.2):

1) *со стороны абонента* – на способы человекомашинного взаимодействия, связанные с его навыками пользования абонентским терминалом (интерфейсом),

знаниями информационных и телекоммуникационных технологий, личными предпочтениями и ограничениями: $UC = \{UC_i, i \in X\}$;

2) со стороны абонентского терминала – на способы человекомашинного взаимодействия, связанные с его программно-аппаратными возможностями:

$$DC = \{DC_j, j \in Y\};$$

3) среды человекомашинного взаимодействия (тип помещения и уровень шумов в нем, число абонентов, расстояние между абонентом и абонентским терминалом и др.): $EC = \{EC_k, k \in Z\}$;

4) предоставляемых услуг, связанные с предметной областью, наличием доступа к инфокоммуникационным ресурсам, их объемом и типом: $SC = \{SC_l, l \in V\}$.

Для формирования множества Δ_g введены подмножества декартовых произведений исходных множеств макромоделей, задающих пространство альтернатив синтеза:

$$F_{UC}^{(g)} \subseteq T^{(g)} \times S^{(g)} \times R^{(g)} \times D^{(g)} \times AS^{(g)} \times NS^{(g)};$$

$$F_{DC}^{(g)} \subseteq T^{(g)} \times S^{(g)} \times R^{(g)} \times D^{(g)} \times AS^{(g)} \times NS^{(g)};$$

$$F_{EC}^{(g)} \subseteq T^{(g)} \times S^{(g)} \times R^{(g)} \times D^{(g)} \times AS^{(g)} \times NS^{(g)};$$

$$F_{SC}^{(g)} \subseteq T^{(g)} \times S^{(g)} \times R^{(g)} \times D^{(g)} \times AS^{(g)} \times NS^{(g)}.$$

С учетом этого задача синтеза ПИКС сводится к поиску оптимальных (квазиоптимальных) подходов к формированию множества Δ_g на основе множества модальностей $NM^{(g)}$ с учетом ограничений UC , DC , EC , SC :

$$\Delta_g^{opt} = \begin{cases} \langle t_i^{(g)}, s_g^{(g)}, d_b^{(g)}, r_k^{(g)}, as_q^{(g)}, ns_a^{(g)} \rangle; \\ \Phi^{(g)} : F_{UC}^{(g)} \cap F_{DC}^{(g)} \cap F_{EC}^{(g)} \cap F_{SC}^{(g)} \rightarrow B_m; \\ W^{(g)} : AS \times NS \times T \rightarrow AS^{(g)} \times NS^{(g)}, \end{cases} \quad (3.1)$$

где элементы множества B_m принимают значения $\{0,1\}$, а отображение $W^{(g)}$ определено в п. 2.2.3.

Выбор полной комбинации модальностей, допустимых в проектируемом АТ, будет определяться следующим образом:

$$\bar{\Delta}_g^{\text{огр}} = \left\{ \bar{\Theta}_g(NM) \mid \Psi^{(g)} : \Theta_g(NM) \times \Delta_g^{\text{огр}} \rightarrow B_m \right\}, \quad (3.2)$$

где $\Theta_g(NM)$ – множество комбинаций модальностей.

В рамках разработанного метода синтеза подхода обоснован выбор конкретных вариантов реализаций отображений $\Phi^{(g)}$ и $\Psi^{(g)}$, определяющих структуры и функции ПИКС и ее элементов, а также конфигурацию программно-аппаратного обеспечения, необходимого для ее реализации.

Общая методика формирования множества допустимых системотехнических решений на основе когнитивного моделирования ПИКС в себя следующую последовательность процедур [30].

Шаг 1.1. Определение требований T абонентов к номенклатуре и качеству предоставляемых услуг S . На данном шаге задается вектор начальных тенденций целевых базисных факторов $\mathbf{X}_t = (x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t)); t = 0$. Для «неиспользуемых» услуг ПИКС начальные тенденции соответствующих факторов приравниваются к нулю.

Шаг 1.2. Структурный анализ когнитивной карты, включающий в себя анализ целей функционирования ПИКС на непротиворечивость, управлений (влияния управляющих факторов) на согласованность с целями и оценивание эффективности интегрального воздействия управляющих факторов на целевые на основе научно-методического инструментария, представленного в [201]. Основу такого анализа составляют оценки динамики фактора x_i , представленные для рассматриваемой концептуальной модели в таблице 2.1.

Структурный анализ разработанной концептуальной модели (п. 2.2.2) показал, что вектор целей (факторы 23-29, 39-48) не противоречив, вектор управлений (факторы 1-10) согласован с вектором целей, а наиболее сильным влиянием на целевые факторы обладают факторы 8-10 (табл. 2.1).

Шаг 1.3. Сценарное моделирование развития ситуации заключается в моделировании возможных вариантов структур когнитивной карты, оценок динамики

параметров базисных факторов и их значений с целью выявления совокупности факторов, способствующих достижению целей такого развития.

На данном шаге целесообразным является применение управляемого развития, предполагающего целенаправленное воздействие на один или несколько управляющих факторов 1-10 (табл. 2.1).

Шаг 1.4. Оценка эффективности проектных решений. Формирование множества допустимых системотехнических решений.

Для оценки эффективности принятых управленческих решений предлагается использовать коэффициент эффективности управленческого решения, характеризующий отношение степени достижения целей к объему и ценности ресурсов, необходимых для реализации соответствующего управленческого решения:

$$e_s = \frac{f_s}{r_s}, \quad (3.3)$$

где $f_s = \frac{\sum_{k=1}^m g_k^l i_k}{\sum_{k=1}^m i_k}$ – коэффициент благоприятности ситуации f_s для сценария

$s (s = 1, \dots, S)$; $g_k = \left| \frac{y_k^* - y_j^n}{y_k^* - y_j^H} \right|, k=1, \dots, 10$ – коэффициент целедостижения; y_k^*, y_k^n, y_k^H –

текущее, прогнозируемое и начальное значения целевого фактора соответственно; i_k – важность цели (табл. 3.2); S – количество вариантов решений (сценариев);

$r_s = \frac{\sum_{i=1}^p u_i v_i}{\sum_{i=1}^p v_i}$ – ресурсоемкость управленческого решения для сценария s ; где u_i

– управляющее воздействие; v_i – ценность ресурса [201].

Множество $\Delta_g^{\text{огр}}$ допустимых системотехнических решений будет определяться:

- требованиями $t_i^{(g)}$ абонентов к номенклатуре и качеству предоставляемых услуг $s_i^{(g)}$ (факторы 23-29 когнитивной модели реализации телекоммуникацион-

ных услуг и факторы 39-48 когнитивной модели реализации полимодальных услуг);

- доступными устройствами ввода/вывода сигналов различных модальностей $d_b^{(g)}$ (факторы 2-7 когнитивной модели);

- объемом и типом предоставляемых инфокоммуникационных услуг $r_k^{(g)}$ (факторы 8-10 когнитивной модели);

- математическими моделями $mm^{орп} \in MM$, методами $mo^{орп} \in MO$ и алгоритмами $al^{орп} \in AL$, реализующими соответствующие технологии обработки сигналов различной модальности (факторы 11-22 когнитивной модели) и многомодальных сигналов (факторы 30-38 когнитивной модели);

- инцидентными им потоками естественных $as_q^{(g)}$ и искусственных $ns_a^{(g)}$ сигналов, обеспечивающими требуемый коэффициент целедостижения g_k и максимум эффективности e_s управленческого решения.

При изменении ситуации в ПИКС (метасистеме) производится корректировка концептуальной модели (п. 2.2.2) и повторение шагов **1.2-1.4**.

3.2. Методики и алгоритмы синтеза физической структуры полимодальной инфокоммуникационной системы

3.2.1. Постановка задачи синтеза (оптимизации) физической структуры полимодальной инфокоммуникационной системы

Методики синтеза технической и функциональной структур, структур ПМИО и управления АПСС, топологической, потоковой и протокольной структур мультипротокольной СПД ПИКС и алгоритмы их оптимизации являются инструментарием второго, третьего и четвертого этапов метода синтеза (оптимизации ФХ) ПИКС (рис. 3.1). На третьем этапе (синтез СПД) в принципе можно использовать существующие алгоритмы решения задач аналитического проектирования сетевых структур с заданными свойствами [65, 67, 74, 117, 126, 179 и др.].

Анализ существующих научно-методических средств технического проектирования показал, что в рамках принятого подхода требуется доработка соответствующего инструментария второго и четвертого этапов для более полного учета современного уровня развития многомодальных интерфейсов. Соблюдение принципов деления передаваемой информации на услуги связи и информатизации затрудняет реализацию потенциальных возможностей современных информационных технологий [181]. Соответственно, ПИКС по принципам построения, структуре и предъявляемым к ним требованиям, являются новыми объектами исследования, синтеза, эксплуатации и развития. Для них не могут быть непосредственно использованы теоретические и практические результаты, полученные для других систем. Так, отказ от применения традиционных принципов распределения информации на услуги в пользу ее полимодального представления влечет за собой неполиномиальный рост вычислительной сложности типовых алгоритмов обработки сигналов различной модальности и вытекающие из этого системные, модельные и расчетные проблемы.

Значительному снижению вычислительной сложности способствует, во-первых, реализованные ранее процедуры оптимизации на концептуальной модели. В результате ее применения из числа одновременно контролируемых в оптимизационном цикле переменных можно исключить параметры технологий обработки сигналов различной модальности и многомодальных сигналов, инцидентные факторам, не влияющим на достижение целей. Во-вторых, впервые в предметной области оптимизацию функциональной структуры ПИКС (ее элементов) предваряет процедура синтеза структур ее ПМИО АТ. Кроме того, при синтезе указанной структуры используются известные алгоритмы $al \in AL$ реализации отдельных процедур преобразования естественных NS и искусственных AS сигналов и технологий обработки в целом, в том числе алгоритмы, реализующие известные и вновь разработанные методы $mo \in MO$, а также алгоритмы, построенные (синтезированные) на основе известных и вновь разработанных математических моделей $mm \in MM$.

Таким образом, задача синтеза физической структуры ПИКС после применения концептуальной модели может быть представлена композицией задач оптимизации физической структуры СПД, структур ПМИО и управления, функциональной структуры АТ. Сохранение глобальности подхода (минимизация неконтролируемой ошибки декомпозиции) обеспечивается за счет произведенного на метамодели распределения требований метасистемы по подсетям и компонентам [181].

3.2.2. Методика синтеза структур программно-математического и информационного обеспечения и управления абонентского терминала полимодальной инфокоммуникационной системы

Для учета возмущающих воздействий внешней и внутренней сред функционирования ПИКС (п. 1.4) разработанный метод синтеза предполагает реализацию структурных альтернатив ПМИО АПСС (АТ) для различных комбинаций модальностей, допустимых в проектируемом АТ и способствующих достижению цели функционирования соответствующей ПИКС. Реконфигурация АТ (управление структурами ПМИО АТ) в данном случае может быть обеспечена путем реализации соответствующей структуры управления.

Исходя из этого, *общая методика синтеза (оптимизации) структур программно-математического и информационного обеспечения и управления абонентского терминала* включает в себя следующую последовательность процедур [27].

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 (п. 2.2.2), 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;
- алгоритмы выделения модальностей $\{al_1, \dots, al_{26}\}$ (рис. 2.2);
- алгоритмы вычисления параметров модальностей;
- алгоритмы реализации технологий обработки многомодальных сигналов;
- алгоритмы реализации полимодальных услуг;
- алгоритмы реализации 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 α_{iznj} на решение z -го этапа i -й задачи в j -м узле;

средний поток информации $\beta_{izni \cdot zn}$ между zn -этапом i -й задачи и zn -этапом i -й задачи в процессе функционирования системы;

затраты $\gamma_{ji \cdot ji}$ на передачу единицы объема информации из узла j в узел j ;

количество R_{ikzt}^γ ресурсов γ -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 (1.13).

Шаг 2.3. Выбор варианта решения задачи x_{ik} , варианта решения этапа x_{izn} , объема задачи x_{izj} , варианта реализации узла x_{jp} ; варианта решения задачи, варианта этапа и узла, в котором он выполняется x_{iznj} ; варианта решения задачи, способа, варианта этапа и узла, в котором он выполняется x_{ikznj} в соответствии с предложенной моделью структуры ПМИО (п. 2.2.4).

Шаг 2.4. Формирование ограничений на затраты функционирования H (2.11) и загрузку узлов R_{jpt}^γ (2.12), исходя из характеристик предполагаемых к использованию аппаратно-программных средств АПСС (АТ).

Шаг 2.5. Выбор числовых характеристик $C(al_1), \dots, C(al_j)$ и вида функционала стоимости (2.13) или (2.14), исходя из оптимизируемых частных показателей эффективности ПИКС и общей схемы организации процесса обработки многомодальной информации.

Шаг 2.6. Определение ресурсов P_{jpt}^γ γ -го типа, необходимых для выполнения задач оперативного управления, на основе избранного функционала стоимости и его числовых характеристик.

Шаг 2.7. Решение задачи (2.10) синтеза структуры ПМИО абонентского терминала ПИКС методами целочисленного программирования.

Шаг 2.8. Оценка числа и номенклатуры модальностей и результатов реализации полимодальных услуг, подлежащих кодированию и передачи в СПД. Указанные характеристики определяются числом входящих дуг в вершины графа $G_{\text{ПМИО}}$, соответствующие алгоритмам реализации телекоммуникационных услуг.

Шаг 2.9. Формирование группы элементов на основе непустых конечных подмножеств AL .

При формировании структуры управления для одной (первой) структуры ПМИО АТ формируются элементарные группы $g = \{al\}, al \in AL$, состоящие из одного элемента. При наращивании числа структурных альтернатив в группы будут входить однотипные элементы, реализующие одинаковые задачи (этапы) ПИКС.

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

Так как (рис. 2.4) естественные $as_q^{(\alpha)}$ и искусственные $ns_a^{(\alpha)}$ сигналы в АТ ПИКС распространяются от входа (устройства ввода) к выходу (выход устройства кодирования) граф $G_{\text{ИЕР}}$ является ориентрованным. Тогда для проверки на нали-

чия в нем циклов может быть использован алгоритм поиска в глубину [190]. Ориентированный граф не имеет циклов тогда и только тогда, когда поиск в глубину не находит в нем обратных ребер.

Шаг 2.11. Выбор оптимальной иерархии для каждой группы, исходя из значений параметра сложности α и параметра функционала β и приведенного в [65] выше анализа (рис. 3.2 и 3.3) или решение задачи об оптимальной иерархии одной группы f с использованием алгоритмов поиска оптимальных деревьев.

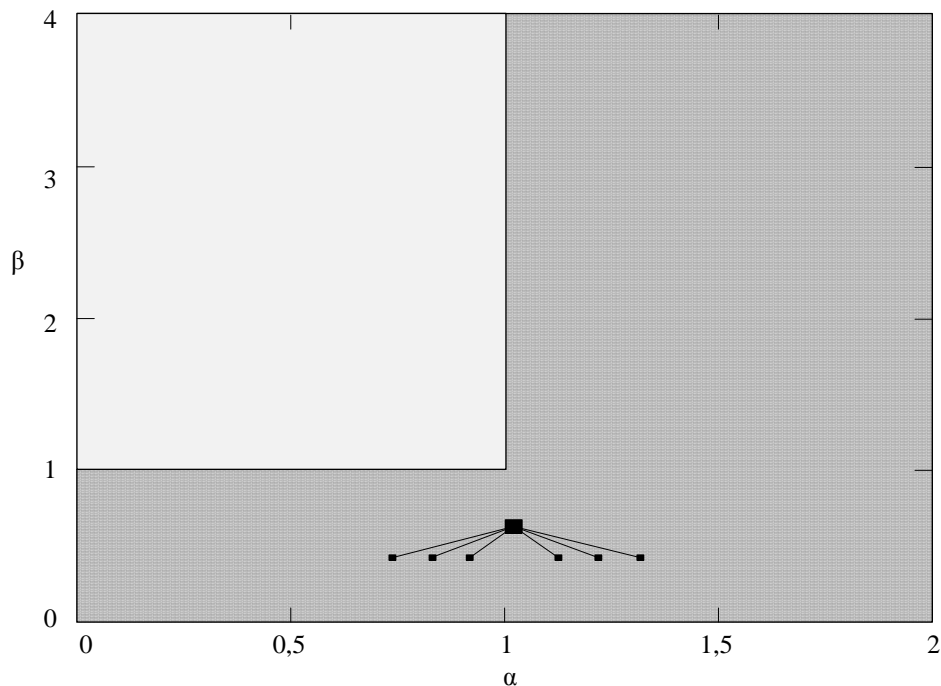


Рисунок 3.2 – Оптимальные иерархические структуры управления абонентским терминалом при выборе функционала стоимости вида (2.13)

Основные типы иерархий представлены на рисунке 3.4.

Шаг 2.11. Формирование структуры управления G_{TY} на основе полученных решений.

Результаты выполнения шага 2.7 являются исходными данными для реализации четвертого этапа разработанного метода синтеза, а шага 2.8 – позволяют оценить минимального объема канального ресурса при передаче сигналов различной модальности и осуществить (в случае решения двойственной задачи) синтез СПД (третий этап разработанного метода).

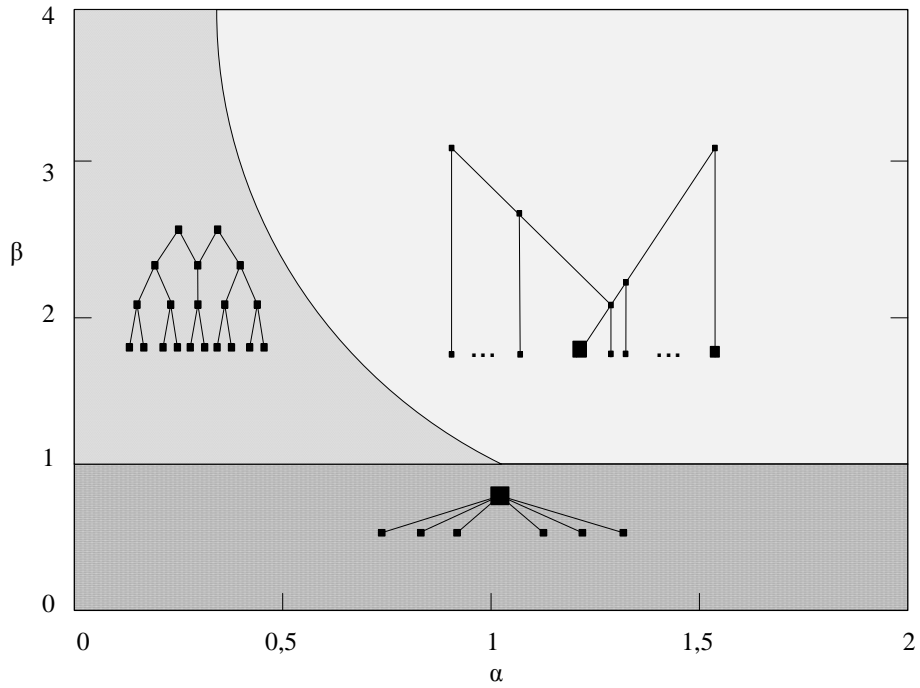


Рисунок 3.3 – Оптимальные иерархические структуры управления абонентским терминалом при выборе функционала стоимости вида (2.14)

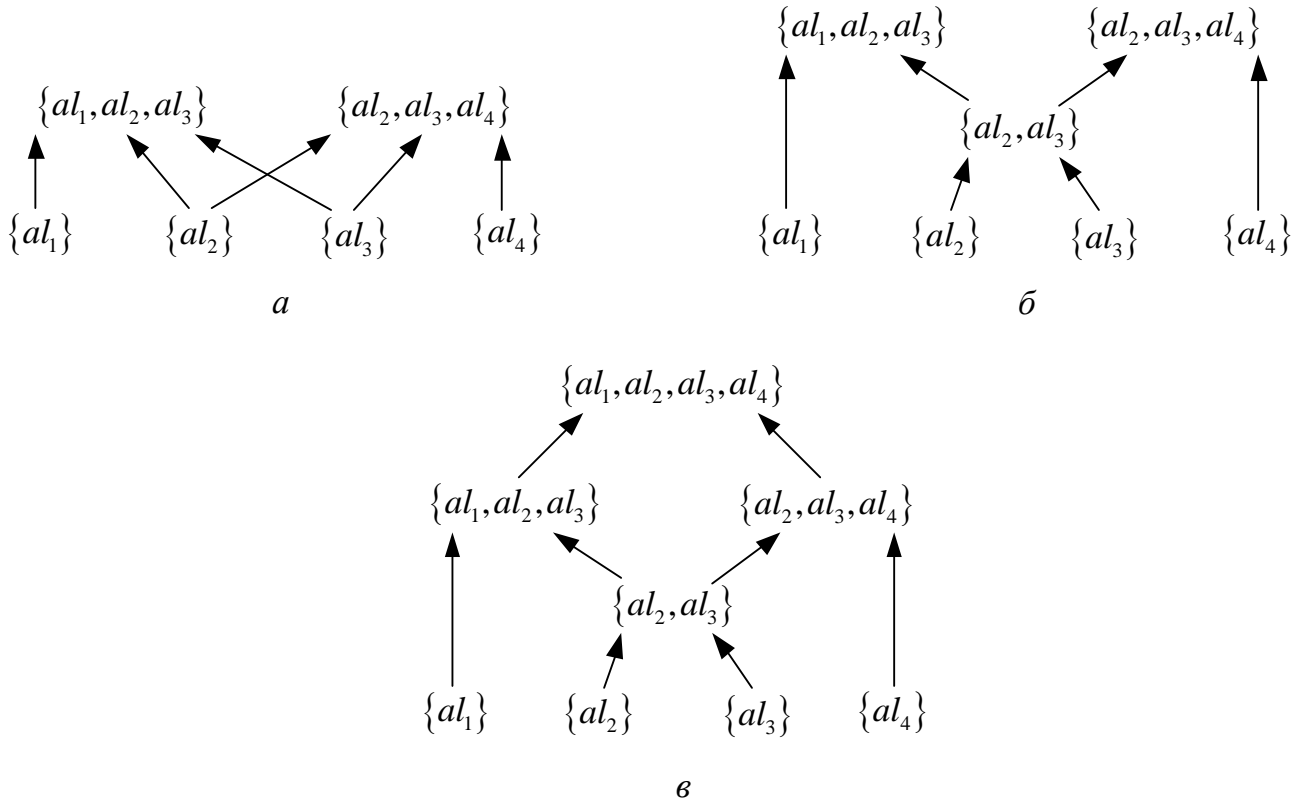


Рисунок 3.4 – Примеры графов иерархии:
a – веерная; *б* – последовательная; *в* – 2-иерархия

Реализация шагов 2.1-2.8 разработанной методики на основе множества модальностей $NM^{(g)}$ обеспечивает формирование структурных альтернатив ПМИО АТ, а выполнение шагов 2.9-2.11 для них обеспечивает построение оптимальной структуры системы управления. Совокупность полученных структур (структурных альтернатив) определяет отображение $\Psi^{(g)}$ и реализуемую им полную комбинацию модальностей, допустимых в проектируемой системе.

3.2.3. Оценка минимального объема канального ресурса при передаче сигналов различной модальности. Синтез сети передачи данных

Сформулированные выше прямая и обратная задачи исследований подразумевают обеспечение взаимодействия в рамках ПИКС источников полимодальной информации с ресурсом СПД. Очевидными в этом смысле являются следующие утверждения.

1. Идеальная СПД для ПИКС должна иметь абсолютно надежные физические модули (узлы коммутации и каналы связи, а также системы, обеспечивающие их функционирование), а объем ее ресурсов пропускной способности должен быть не меньше пикового объема информации (в единицах измерения объектов учета), поступающей от многомодальных источников информации.

2. Реальная СПД для ПИКС имеет ограниченно надежные физические модули, объем ее ресурсов пропускной способности, как правило, меньше (по экономическим соображениям) пикового объема информации, поступающей от многомодальных источников информации

При синтезе традиционных инфокоммуникационных систем, предоставляющих услуги связи, используются существующие методы, базирующиеся на теориях сетей связи, графов, сетей и систем массового обслуживания, телетрафика, фракталов и пр. При этом под качеством обслуживания (*QoS*) пользователя здесь понимается интегральный показатель, характеризующий предоставленную ему услугу связи в целом [168]. Этот показатель представляется в виде параметров качества обслуживания, позволяющих пользователям определить свои по-

требности, а провайдером телекоммуникационных услуг дать основу для выбора или разработки соответствующего протокола переноса информации. Для ПИКС формулировки понятий качества обслуживания или эффективности передачи многомодальной информации, аналогичных по смыслу QoS , еще находятся в стадии своего становления (п. 1.3.3). В этой связи формальное описание структуры и процессов функционирования СПД в данной работе осуществляется в терминах хорошо апробированного инструментария теории массового обслуживания и алгоритмов оценки вероятностно-временных характеристик обслуживания БД (ОУч).

Моделирование методов передачи блоков данных в традиционных научных школах часто осуществляется по функциональным признакам послонно (рис. 1.14). Его результаты представлены ниже (рис. 3.5).

1. Гомогенная ОТС (СЦИ/ОВ) имеет линии передачи $SyTDM$ с ограниченным числом градаций скоростей передачи: 0,155; 0,622; 2,5; 10 и 40 Гбит/с. С точки зрения ПИКС, такой "шаг квантования" пропускной способности не способствует адаптации СПД под изменение скорости выдачи полимодальной информации, а задача синтеза такой сети состоит в экстенсивном наборе такого ресурса, который бы обеспечил передачу трафика на "наихудший случай".

2. Электрически инвариантная ОТС (IP/Ethernet/СЦИ/ОВ; АТМ/СЦИ/ОВ; IP/MPLS/Ethernet/ОВ или IP/MPLS/АТМ/ОВ) подразумевает "электрическую" инкапсуляцию блоков данных в формат кадра канального уровня. Она имеет эффективность использования пропускной способности, определяемую вариантом инкапсуляции пакетов в кадр, случайную величину сетевой задержки на всем пути доставки и требует мер по ограничению максимальной входящей нагрузки от многомодальных абонентских терминалов [117, 126].

Задача синтеза такой сети состоит в наборе такого ресурса, который бы обеспечил передачу каждого типа (терпимых и критичных к задержкам блоков данных) трафика с учетом увеличения его объема в ходе инкапсуляции. При этом ресурс линий передачи "нарезается" на полосы максимально возможной равной

пропускной способности, канальная емкость которых приоритетно предоставляется первому типу трафика, а при наличии оставшегося – второму.

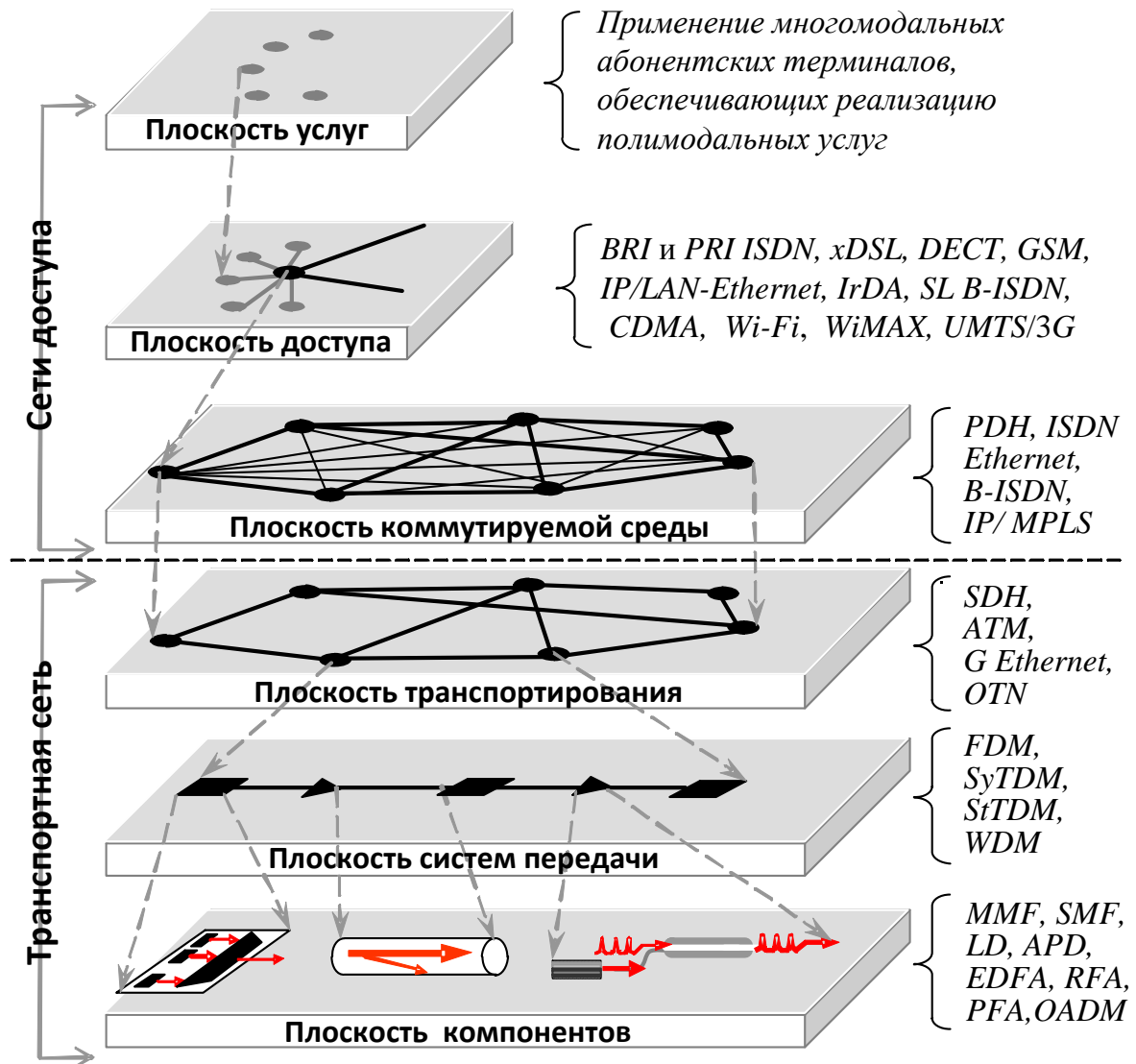


Рисунок 3.5 – Послойное представление инфокоммуникационной системы:

BRI – Basic Rate Interface; PRI – Primary Rate Interface; ISDN – Integrated Services Digital Network; DSL - Digital Subscriber Line; DECT – Digital Enhanced Cordless Telecommunication; GSM – Global System Mobile; IP – Internet Protocol; LAN – Local Area Network; IrDA – Infrared Data Association; SL – Selected Line; B-ISDN – Broadband Integrated Services Digital Network; CDMA – Code Division Multiple Access; Wi-Fi – Wireless Fidelity; WiMAX – Worldwide Interoperability for Microwave Access; UMTS – Universal Mobile Telecommunication System; PDH – Plesiochronous Digital Hierarchy; MPLS – Multiprotocol Label Switching; SDH – Synchronous Digital Hierarchy; ATM – Asynchronous Transfer Mode; OTN – Optical Transport Network; FDM – Frequency Division Multiplexing; SyTDM – Synchronous Time Division Multiplexing; StTDM – Statistical Time Division Multiplexing; WDM – Wavelength Division Multiplexing

Таким образом, в существующих транспортных сетях с "электрическим" мультиплексированием организуется максимальное число каналов равного качества, а для каждого режима переноса разработаны и реализуются соответствующие

щие методы передачи сигналов [4, 87]. Очевидно, что при изменении состава используемых модальностей, согласованно с ним должна изменяться производительность соответствующего тракта СПД, но шаг этого изменения в первом случае кратен ступени иерархии СЦИ, а в другом сопряжен с избыточными затратами ресурса пропускной способности и времени, обусловленными многоступенчатыми актами вложения/извлечения блоков данных.

3. Логичным выходом из создавшегося положения становится обеспечение инвариантности ОТС к используемой технологии передачи "на оптическом уровне" вне традиционных принципов деления пропускной способности линий СПД на равные доли (энергии сигналов на равные порции). Такой подход, наряду с упрощением внедрения в ОТС инновационных технологий, позволит расширить возможности использования существующих интегрированных аппаратно-программных средств связи, включающих в себя разнородные средства мультиплексирования, обеспечив передачу примитивов канального уровня ЭМВОС, транспортирующих сведения об активных модальностях, в оптической среде без промежуточной "электрической" инкапсуляции. Теоретические основы и принципы построения ОТС связи, инвариантных к технологии передачи, представлены в [179], а исходные данные для решения вновь возникающих структурно-сетевых задач в п. 1.4.

Естественно, такой подход обуславливает необходимость оптимизации в дальнейшем целого ряда функциональных характеристик элементов СПД для обслуживания многомодальных сообщений от АТ, что потребует новых теоретических исследований в предметной области.

3.2.4. Методика и алгоритмы выбора аппаратно-программных средств абонентских терминалов полимодальной инфокоммуникационной системы

Одним из важных вопросов, решаемых в ходе проектирования инфокоммуникационных систем [82], является выбор оборудования (программно-аппаратных реализаций *AP*), реализующего синтезированные структуры ПМИО $G_{\text{ПМИО}}$ и

управления $G_{\text{ТУ}}$. В качестве характеристик для выбора оборудования могут использоваться:

- технические характеристики, наиболее важные для оборудования конкретной ПИКС;

- надежность;

- массогабаритные характеристики оборудования;

- соответствие специфическим требованиям заказчика (наличие сертификатов, опыт применения в других проектах, особенности программного обеспечения и т. п.);

- перспективы выпуска данной серии оборудования, совместимость с другими сериями;

- стабильность технической поддержки производителя;

- наличие максимально полной технической документации;

- стоимостные характеристики и др.

Необходимо отметить, что конкретный набор показателей для выбора технических средств определяется спецификой создаваемой системы. При этом для различных типов СПД и АТ степень важности каждого из указанных показателей различна.

По результатам проведенной оценки по отдельным показателям может быть выбрано небольшое число типов оборудования, которое наиболее соответствует всем предъявляемым требованиям и сопоставимо друг с другом по эксплуатационным показателям. Из оставшихся вариантов необходимо выбрать наиболее приемлемый с точки зрения технических и эксплуатационных показателей вариант для данной ПИКС. Для этого предлагается использовать оригинальную методику, включающую в себя совокупность алгоритмов синтеза функциональной структуры ПИКС, рассмотренных ниже [28].

Для их реализации в [42] предложено представлять функциональную структуру ПИКС с помощью графа, у которого вершины соответствуют множеству структурных элементов (узлов), а ребра – связям между ними. Пример такого представления входного одномодального интерфейса абонентского терминала представлен на рисунке 3.6.

С учетом принятой декомпозиции аналогично могут быть показаны выходной интерфейс абонентского терминала и СПД ПИКС. Представление структуры телекоммуникационных сетей в виде графа является известным и широко применяемым подходом.

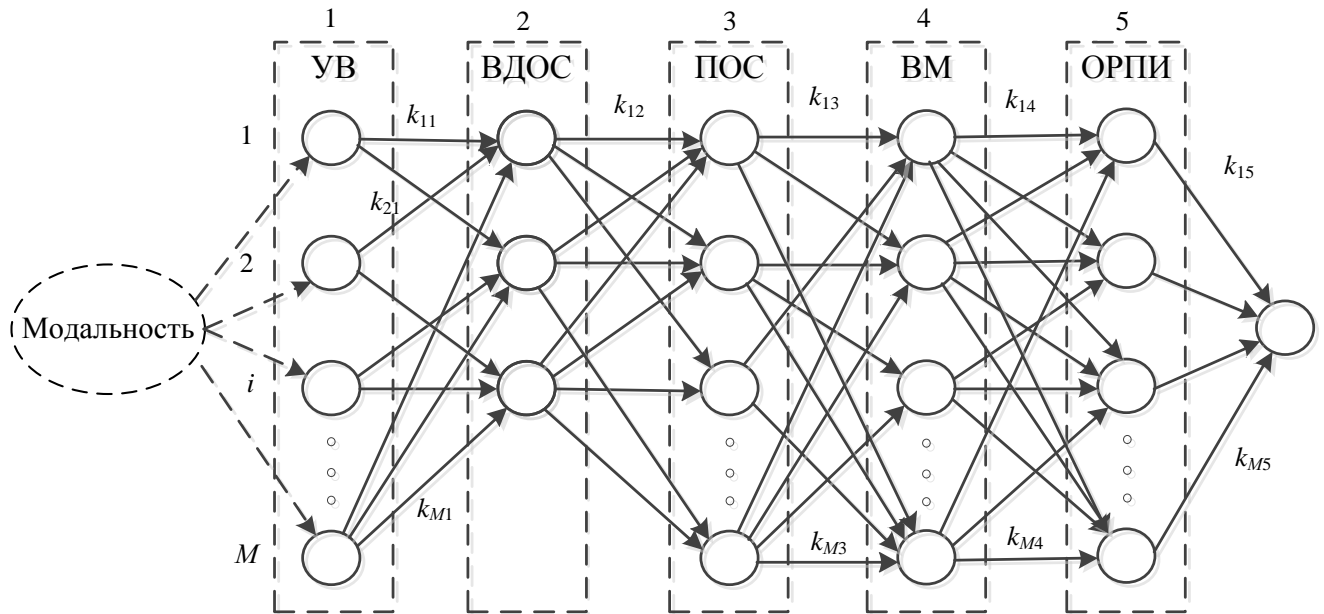


Рисунок 3.6 – Граф функциональной структуры входного интерфейса АТ:

УВ – устройства ввода; ВДОС – ввод и дистанционная обработка сигналов;
 ПОС – предварительная обработка сигналов; ВМ – выделение модальностей;
 ОРПИ – объединение и разделение полимодальной информации

Множество вершин графа для каждого структурного элемента (узла) входного интерфейса определяется совокупностью программно-аппаратных реализаций AP , выполняющих соответствующие функции. Ребра в общем случае последовательно соединяют все вершины, что определяет возможность полного перебора.

Для оптимального выбора программно-аппаратных реализаций целесообразно применять обобщенный показатель, учитывающий технические характеристики E_{ij} , стоимость C_{ij} и коэффициент технической совместимости T_{ij} [54, 55]:

$$k_{ij} = \frac{E_{ij}^{\text{норм}} \cdot C_{ij}^{\text{норм}}}{T_{ij}}, \quad (3.4)$$

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.

Частный показатель E_{ij} обеспечивает реализуемость принятых решений относительно структур ПМИО и управления АТ с использованием аппаратно-программных средств, которые либо уже используются в действующих ИКС, либо прошли полные лабораторные испытания (см. ограничение, введенное в п. 2.1.1). Частный показатель C_{ij} является частным показателем удельной стоимости ПИКС. Значение коэффициента технической совместимости, определяющей соответствие двух сопрягаемых функциональных элементов (j -го и $(j-1)$ -го блоков) и их инцидентность элементам информационно-алгоритмической структуры, находится экспертным путем в диапазоне $T_{ij} \in (0;1]$. При этом на практике чаще всего применяются методы экспертных оценок, основанные на учете мнений специалистов. Наиболее предпочтительным при определении технической совместимости является метод непосредственной оценки, позволяющий не только провести ранжирование элементов, но и присвоить им численные значения. В случае полной совместимости $T_{ij} = 1$, при невозможности сопряжения двух структурных элементов в графе ($T_{ij} = 0$) будет отсутствовать ребро между ними.

Минимизация $l_{ij} \leftarrow \min(k_{ij} + l_{(ij-1)})$, где l_{ij} – сумма весов обобщенных показателей (3.4) на маршруте от последнего узла ко всем первым, позволяет оптимизировать структуру ПИКС с учетом требований к техническим характеристикам, стоимости и совместимости различных функциональных элементов (узлов).

При необходимости функциональная структура входного (выходного) интерфейса (АТ, СПД, ПИКС) может быть представлена с большей степенью детализации (большим числом программно-аппаратных реализаций), техническая совместимость формализована в виде отдельных параметров, а обобщенный показатель (3.4) расширен другими техническими характеристиками.

Для оптимизации функциональной структуры АТ (СПД, ПИКС) по каждой модальности целесообразно использовать алгоритм поиска кратчайшего пути (табл. 3.1) [190]. Проведенный анализ указал на целесообразность применения для рассматриваемого графа (рис. 3.6), содержащего n вершин и m ребер при $k_{ij} > 0$ и $m > n$, для поиска кратчайших путей алгоритма Дейкстры.

Таблица 3.1 – Алгоритмы оптимизации функциональной структуры АТ

Алгоритм	Объект	Действие	Количество операций
Алгоритм Дейкстры	Взвешенный граф без ребер отрицательного веса	Поиск кратчайшего пути от одной вершины до всех остальных	n^2
Алгоритм Форда–Беллмана	Взвешенный граф	Поиск кратчайшего пути от одной вершины до всех остальных	nm
Алгоритм Флойда–Уоршелла	Взвешенный граф	Поиск кратчайшего пути между каждой парой вершин	n^3

С учетом введенных обозначений и критерия (3.4) графом могут быть представлены и многомодальные интерфейсы (рис. 3.7).

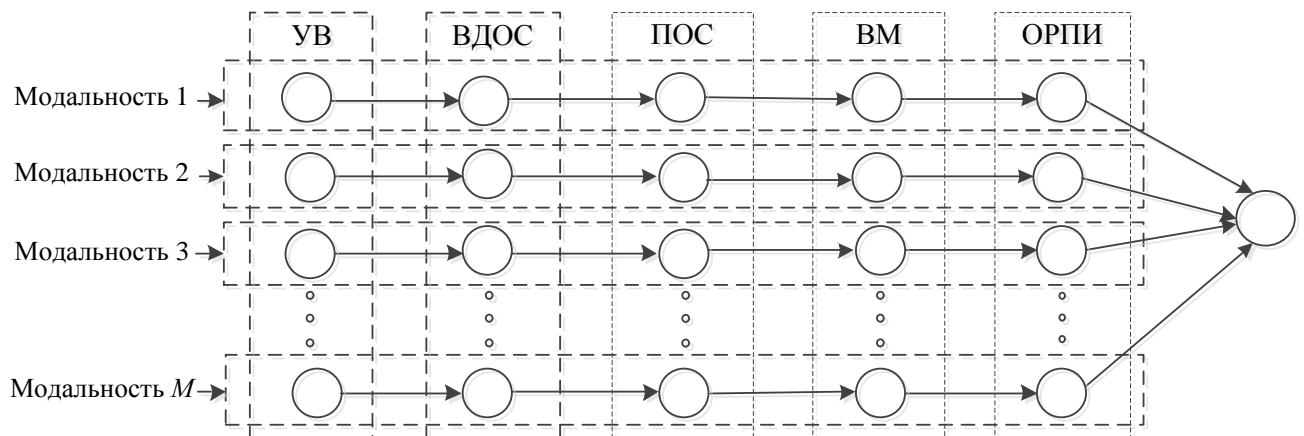


Рисунок 3.7 – Граф функциональной структуры входного многомодального интерфейса АТ:

УВ – устройства ввода; ВДОС – ввод и дистанционная обработка сигналов;
 ПОС – предварительная обработка сигналов; ВМ – выделение модальностей;
 ОРПИ – объединение и разделение полимодальной информации

Для снижения структурной избыточности АТ ПИКС возможно использовать одни и те же однотипные функциональные элементы (узлы) в схемах обра-

ботки сигналов различных модальностей, осуществляя их последовательную коммутацию (рис. 3.8).

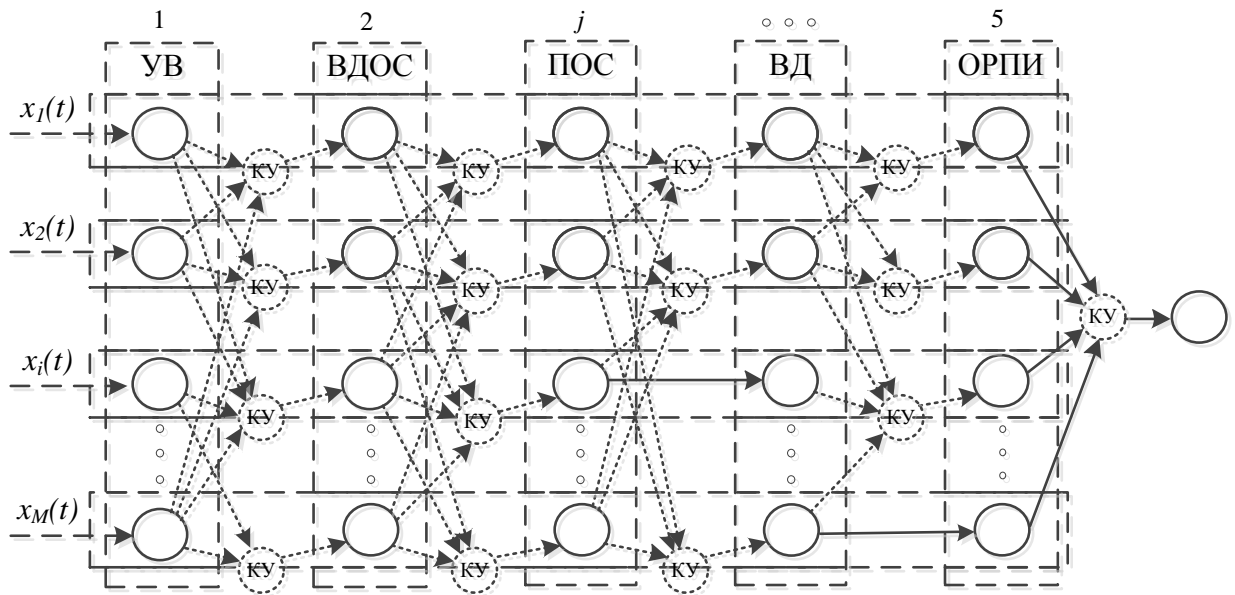


Рисунок 3.8 – Граф функциональной структуры входного многомодального интерфейса АТ с размещенными коммутационными узлами

Для оптимизации функциональной структуры (рис. 3.8) предложен модифицированный алгоритм Дейкстры (рис. 3.9) [27].

Исходными данными для его работы являются матрица весов вершин $K = \{k_{ij}\}$, где k_{ij} – значения обобщенного показателя (3.4); и $Y = \{y_{ijz}\}$ – матрица смежности, где y_{ijz} – принимает значения 0 (связь отсутствует) или 1 (связь есть) между вершинами шагов j и $(j-1)$, i и z – порядковые номера узлов на шагах. К основным этапам функционирования алгоритма оптимизации относятся:

I – получение матрицы маршрутов $Tr = \{Tr_{ij}\}$, обеспечивающих минимальные значения весов пути для всех вершин графа;

II – восстановление массива оптимальных маршрутов $Op = \{Op_{ij}\}$;

III – удаление узлов графа, соответствующих коммутационным узлам с одним входом;

IV – формирование матрицы коммутаций $Mk = \{Mk_{ij}\}$, определяющей режимы работы коммутационных узлов.

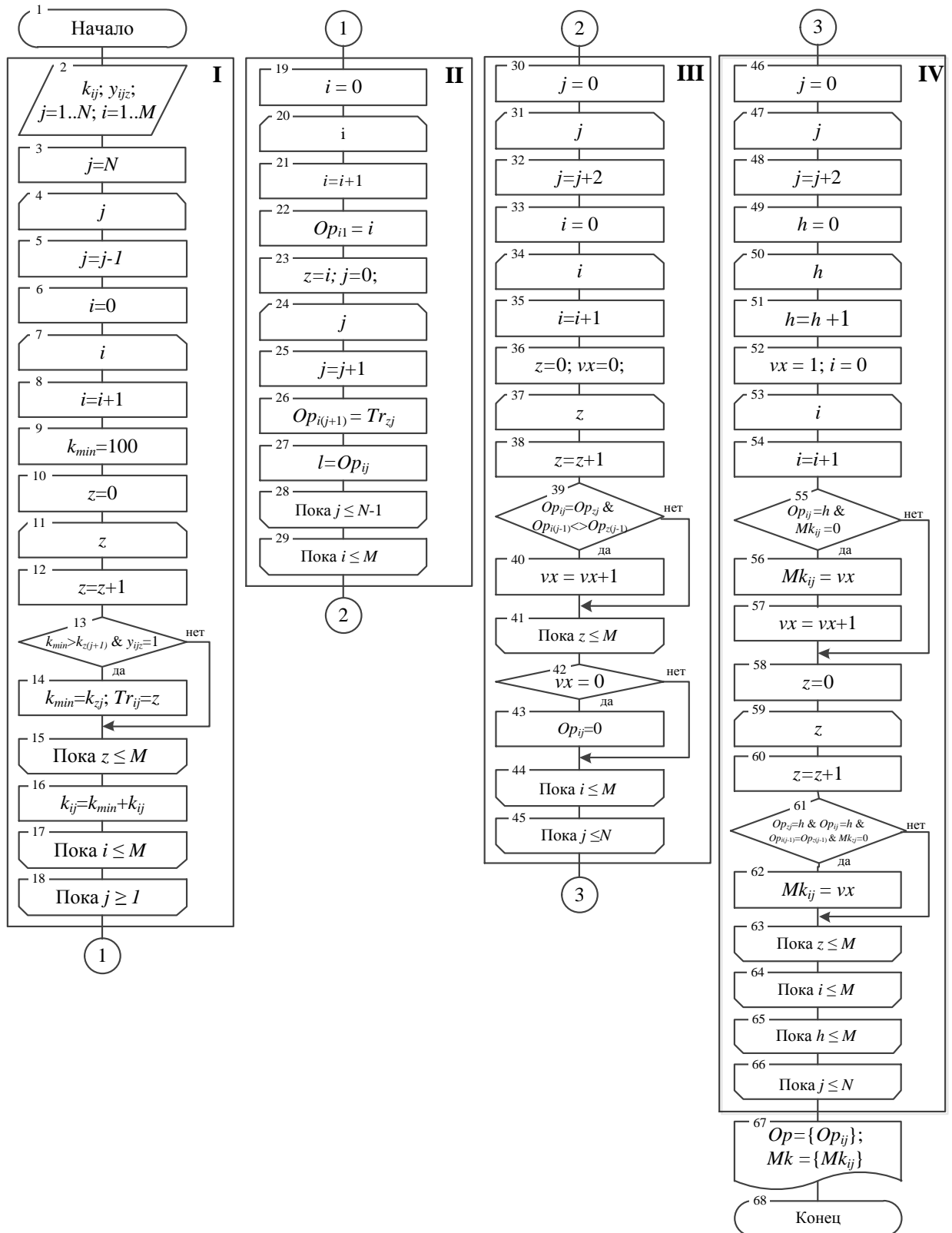


Рисунок 3.9 – Алгоритм оптимизации функциональной структуры АТ ПИКС

Первые два этапа соответствуют выполнению классического алгоритма поиска кратчайших путей (алгоритм Дейкстры), а реализация третьего позволяет получить оптимальные маршруты Op , не содержащие коммутационные узлы с одним входом, на четвертом – формируется матрица коммутаций, в соответствии с которой определяется таблица динамической адресации коммутационных узлов.

Разработанный алгоритм позволяет снизить структурную избыточность входного многомодального интерфейса АТ (рис. 3.8) и представить его в следующем виде (рис. 3.10).

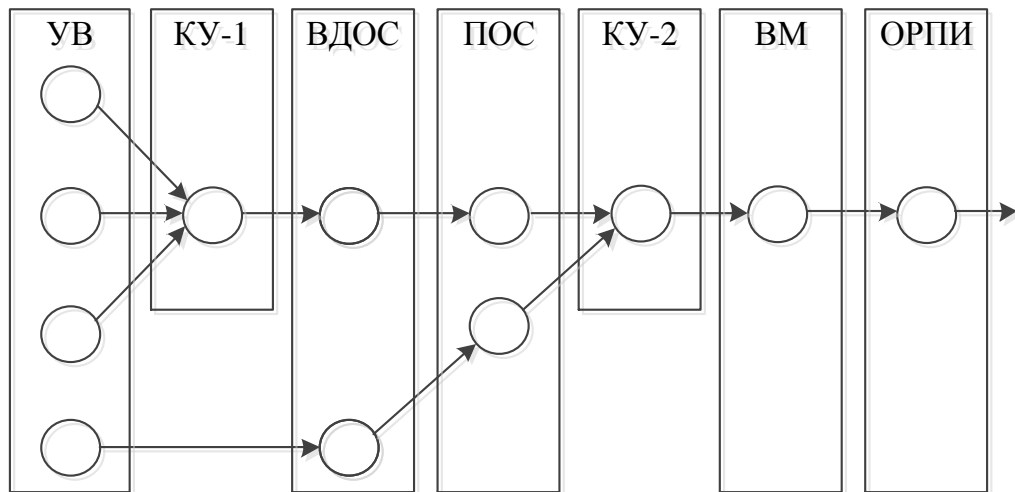


Рисунок 3.10 – Граф оптимальной функциональной структуры входного многомодального интерфейса АТ ПИКС

При анализе полученного решения возможна ситуация, когда с точки зрения эксперта полученная функциональная структура будет содержать ненадежные (плохо совместимые) узлы. Их исключение обуславливает необходимость анализа исходных структур на наличие резервных маршрутов (рис. 3.11).

Разработанный алгоритм (рис. 3.11) позволяет строить оптимальные маршруты с обходом всех узлов исходной структуры и использует (блоки 2 и 11) представленный выше (рис. 3.10) алгоритм оптимизации функциональной структуры.

Основываясь на полученных результатах, методика выбора аппаратно-программных средств абонентских терминалов полимодальной инфокоммуникационной системы может быть представлена следующей последовательностью процедур [28].

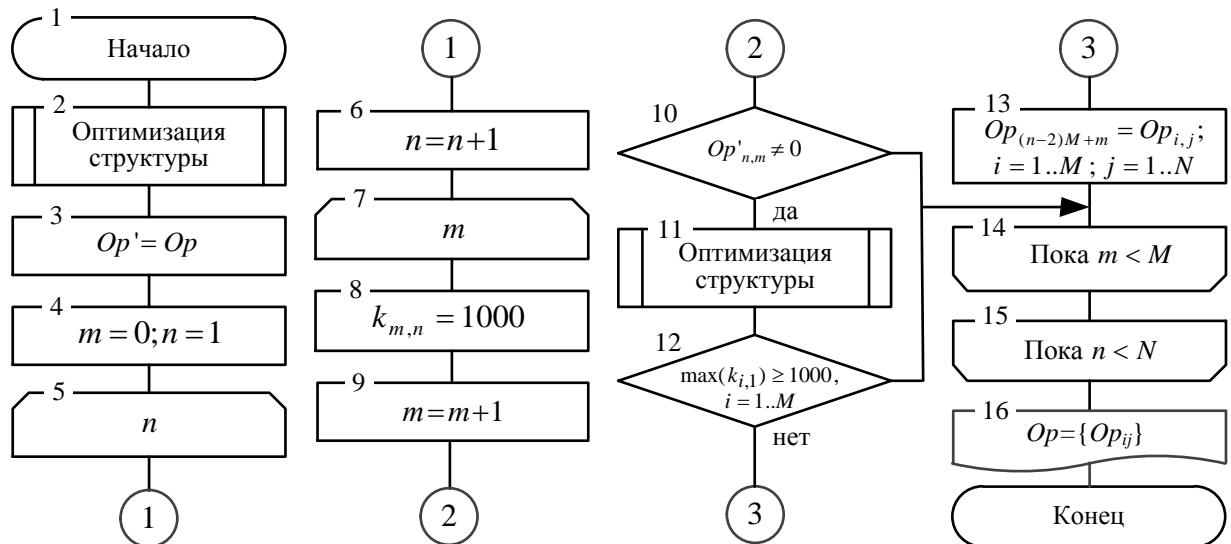


Рисунок 3.11 – Алгоритм оптимизации функциональной структуры ПИКС с резервированием

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, узла, 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 ПИКС.

Шаг 3.2. Построение графа функциональной структуры ПИКС (ее подсистем или элементов).

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

Шаг 3.4. Расчет обобщенного показателя (3.4) для всех пар сопрягаемых функциональных элементов.

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 много-модальным входным интерфейсом, то применяется алгоритм (рис. 3.10) и осуществляется переход к **шагу 3.8**. В противном случае – переход к **шагу 3.7**.

Шаг 3.7. Для оптимизации функциональной структуры ПИКС с много-модальным входным интерфейсом и резервированием применяется алгоритм, представленный на рисунке 3.11.

Шаг 3.8. Формирование графа оптимальной функциональной структуры ПИКС (ее подсистем или элементов).

Полученные результаты (выбранные программно-аппаратные реализации АР и их взаимосвязь, определяемая графом оптимальной функциональной структуры) используются при проектировании технологической структуры АПСС ПИКС известными методами и средствами [6, 199].

Представленная методика определяет этап IV.1 предложенного метода синтеза ПИКС (рис. 3.1) и позволяет достаточно обоснованно решать проблему выбора программно-аппаратных реализаций. Для обеспечения реализуемости ПИКС разработанный метод предполагает оптимизацию параметров ее элементов.

3.3. Способы оптимизации функциональных характеристик аппаратно-программных средств полимодальной инфокоммуникационной системы

Принятая концепция исследований подразумевает применение на суб-уровне функционально-структурного подхода и вытекающих из него принципов определения и учета потенциальных функциональных возможностей компонент-

ной базы. Основываясь на центральной гипотезе исследований можно считать, что эти потенциальные возможности ограничиваются только внутренними ФХ аппаратных и программных средств реализации функциональных элементов (узлов) ПИКС. Их использование и комбинация определяют *программный, аппаратный и аппаратно-программный способы* реализации вычислительных алгоритмов (рис. 3.12) [32].



Рисунок 3.12 – Способы и средства реализации ПИКС

Программная реализация подразумевает представление алгоритма в виде программы, которую последовательно от команды к команде выполняют один или одновременно несколько независимых процессоров.

Аппаратная реализация ПИКС подразумевает использование электронной компонентной базы: разнообразных функциональных блоков (регистров, сумма-

торов, линий задержки, умножителей, счетчиков, устройств памяти, логических элементов), совокупность и порядок связей между которыми определяют реализуемый алгоритм, или интегральных схем, современное поколение которых принято называть сверхбольшими интегральными схемами (СБИС) или микропроцессорами. Различные выполняемые функции, принципы построения и сферы применения обусловили специализацию СБИС. Достаточно условно их можно разделить на следующие классы: универсальные микропроцессоры, микроконтроллеры, цифровые процессоры обработки сигналов (ЦПОС), часто называемые сигнальными процессорами (DSP – Digital Signal Processor), программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС) и системы на кристалле (СнК).

Универсальные микропроцессоры предназначены для применения в вычислительных системах широкого назначения, в том числе в персональных ЭВМ. Явной тенденцией последних лет является включение в состав универсальных микропроцессоров функциональных блоков для обработки мультимедийной информации.

Граница принадлежности СБИС к классу *микроконтроллеров* достаточно условна и определяется относительно невысокой производительностью, обусловленной областью применения: микроконтроллеры используются, как правило, во встроенных системах управления (в том числе в бытовых приборах), обладают широкой специализацией и разнообразием функций.

Цифровой процессор обработки сигналов представляет собой RISC-процессор (Reduced Instruction Set Computer), предназначенный для выполнения обработки данных и решения задач анализа и управления (реализации алгоритмов *AL*) в реальном масштабе времени с использованием цифровых потоков, образованных оцифровкой аналоговых сигналов. Реальный масштаб времени, как правило, предполагает, что время выполнения алгоритма вычисления не превышает периода дискретизации (в случае обособленной обработки каждого отсчета исходного сигнала) или длительности обрабатываемого кадра (при блочной обработке исходного сигнала), при этом расчет текущего отсчета (текущего блока отсчетов) выходного сигнала системы опережает по времени поступление следую-

щего отсчета (следующего блока отсчетов) входной последовательности. Для повышения производительности ЦПОС используются общие методы повышения производительности типа увеличения тактовой частоты работы микропроцессора. Однако с этой целью применяются главным образом структурные и архитектурные решения, определяемые спецификой задач и алгоритмов *AL*.

Программируемые логические интегральные схемы – это матричные большие интегральные схемы, обладающие характерным отличительным признаком – "гибкостью" архитектуры. Такое технологическое решение обеспечивает разработчику возможность самостоятельно конфигурировать СБИС, создавая вычислительную архитектуру, наиболее оптимальную (рациональную) для разрабатываемого приложения. По сравнению с другими микроэлектронными технологиями технология ПЛИС обеспечивает рекордно короткий проектно-технологический цикл, минимальные затраты на проектирование, максимальную гибкость при необходимости модификации аппаратуры. Заслуживает внимания точка зрения о том, что со временем ПЛИСы могут вытеснить универсальные микропроцессоры и ЦПОС, при этом разработчик сможет самостоятельно реализовывать необходимую ему систему программными средствами, учитывая специфику требуемого приложения.

В настоящее время активно формируется новый тип цифровой элементной базы, являющийся закономерным итогом совершенствования технологий производства ЦПОС и ПЛИС и получивший название *системы на кристалле* [49]. В англоязычной литературе СБИС этого типа обозначаются аббревиатурой "SOC" – System On the Chip. Технологической основой создания СнК является тенденция уменьшения размера единичного элемента ЦПОС (например элементарного транзистора), обуславливающая рост числа элементов, интегрированных в одном кристалле. Такая тенденция обеспечивает возможность размещения на одном кристалле (в одном корпусе) нескольких вычислительных ядер (как правило, микроконтроллера для задач управления и, например, одного или нескольких ЦПОС для задач обработки сигналов) и комплекта периферийных устройств, необходимых для прогнозируемой области применения СнК. Возможным проявлением СнК яв-

ляется совмещение в одном корпусе ЦПОС и ПЛИС. Очевидно, что на функциональном уровне для СнК характерен развитый пользовательский интерфейс.

Основное достоинство аппаратной реализации состоит в очень высоком быстродействии, что позволяет обрабатывать сигналы при требуемых частотах дискретизации. С другой стороны, аппаратная реализация, ориентированная на решение узкоспециальных задач, подразумевает создание систем с жесткой логикой, когда любое изменение алгоритма требует модификации структуры устройства, то есть введения дополнительных функциональных блоков. Кроме того, аппаратная реализация во многих случаях приводит к большому потреблению энергии и к необходимости организовывать теплоотвод. Указанные недостатки обуславливают высокую стоимость аппаратной реализации ПИКС, причем их проектирование, изготовление и отладка оказываются весьма трудоемкими и требуют значительных временных затрат. Кроме того, очень важным аспектом привлекательности конкретного семейства ЦПОС, ПЛИС или СнК является развитость инфраструктуры разработки цифровых систем на их основе, которая в каждом случае представляет собой комплекс аппаратных и программных средств и составляет основу системы автоматизированного проектирования (САПР).

Аппаратно-программная реализация позволяет соединить положительные свойства аппаратного и программного способов.

Очевидно, что в практике современных инфокоммуникаций находят применение все рассмотренные способы и средства реализации ПИКС. При этом задача разработки перспективной техники связи в первую очередь актуализирует способ аппаратной реализации систем на основе ЦПОС, ПЛИС и СнК, а оптимизация функциональных характеристик аппаратно-программных средств полимодальной инфокоммуникационной системы на их основе реализуется в процессе отладки.

Основные этапы разработки и отладки АПСС ПИКС на ПЛИС представлены ниже.

1. *Ввод проекта*, предусматривающий поведенческое и (или) структурное описание проекта. Основной задачей данного этапа является описание проектируемой системы и получение ее исполняемой спецификации на языках AHDL,

VHDL (Very high speed integrated circuits Hardware Description Language) и Verilog HDL с учетом технического задания.

2. *Функциональное моделирование алгоритмов*: описание проектируемой системы с помощью алгоритмов и функций с использованием сред MATLAB/Simulink и DSP Builder.

3. *Синтез проекта* (компиляция):

– преобразование описания проекта в схему, реализуемую на заданной элементной базе;

– оптимизация спроектированной схемы с использованием программных средств проектирования QUARTUS II, Spectrum, Synplify с учетом ограничений по быстродействию и занимаемой площади ПЛИС;

– создание программируемых файлов, используемых программатором для программирования одного или нескольких устройств.

4. *Разводка и размещение внутренних (аппаратных) ресурсов ПЛИС* с учетом наложенных ограничений по быстродействию и занимаемым логическим ресурсам.

5. *Верификация (временной анализ)*, предусматривающая проверку соответствия созданной ЦС требованиям по быстродействию.

6. *Моделирование на вентиляном уровне*, предусматривающее временное моделирование и проверку правильности функционирования проекта после этапов синтеза, разводки и размещения.

7. *Тестирование и отладка проектируемой системы* в целях соответствия исходной спецификации и другим требованиям в процессе проектирования и детализации с использованием программных сред QUARTUS II, ISE, MATLAB/Simulink и DSP Builder.

При поведенческом (структурном) описании проекта создаётся общая исполняемая спецификация проектируемой системы, предусматривающая построение системной модели, позволяющей исследовать и оценивать различные варианты построения ЦС и выбирать оптимальное решение, которое будет реализовано в дальнейшем.

На этапах верификации и тестирования проекта моделируемые функции трансформируются и разделяются для выполнения на ряде платформ (архитектур), содержащих программируемые процессоры, память, ПЛИС. Используя различные виды оценок, можно определить оптимальную архитектуру, отвечающую критериям работы в режиме реального времени, производительности, потребляемой мощности, стоимости и др.

Программные функции оцениваются с точки зрения размера кода и наименьшего времени выполнения, измеряемого количеством тактов процессора, а аппаратные функции – количеством эквивалентных вентиляей.

Основными требованиями, предъявляемыми к составу средств разработки и отладки АПСС на ПЛИС, являются:

- возможность анализа архитектуры, производительности и других системных параметров проектируемых систем;
- единая среда проектирования от системного уровня до уровня регистровых передач и вентиляного уровня с поддержкой языков описания аппаратуры Verilog и VHDL;
- возможность совместной разработки и верификации АПСС и встроенного программного обеспечения;
- проектирование систем с использованием процессорных блоков, то есть применение моделей процессоров при разработке АПСС и программного обеспечения;
- наличие библиотек и высокоуровневых конструкций для функциональных блоков и коммуникационных каналов, включая таблицы связности;
- наличие средств управления данными и документирования проектов.

Основные этапы разработки и отладки АПСС ПИКС на СнК во многом аналогичны и представлены в [49].

Выводы по третьему разделу

1. Для решения разнообразных структурно-сетевых задач построения полимодальной инфокоммуникационной системы предложен многоэтапный метод, базирующийся на иерархической (мета-, макро- и субуровня) системе различных по точности моделей, разработанных в разделе 2, при этом выходные результаты очередного этапа оптимизации функциональных характеристик являются начальными условиями для следующего этапа. На первом этапе решается задача выбора рациональных системотехнических решений с использованием концептуальной модели – метамодели ПИКС. На втором этапе осуществляется уточнение полученных структур на графо-матричных моделях. На третьем производится синтез физической структуры СПД с использованием различающихся степенью обобщения и адекватности макро-, структурно-функциональных и функционально-структурных моделей. На четвертом этапе производится выбор аппаратно-программных средств реализации ПИКС, необходимых для обеспечения реализуемости заданных показателей эффективности и других средств адаптации АТ под изменяющиеся требования субъектов ИнфП к качеству предоставляемой информации.

2. Анализ существующих научно-методических средств технического проектирования информационной инфраструктуры показал, что в рамках предлагаемого подхода потребуется доработка инструментария второго и четвертого этапов метода синтеза в направлении более полного учета современного уровня развития многомодальных интерфейсов. Отказ от применения традиционных принципов распределения информации в пользу ее полимодального представления влечет за собой неполиномиальный рост вычислительной сложности типовых алгоритмов обработки сигналов различной модальности и вытекающие из этого системные, модельные и расчетные проблемы.

3. Снижению вычислительной сложности способствует, во-первых, процедуры оптимизации на концептуальной модели. В результате ее применения из числа одновременно контролируемых в оптимизационном цикле переменных можно исключить параметры технологий обработки сигналов различной модальности и многомодальных сигналов, инцидентные факторам, не влияющим на дос-

тижение целей. Во-вторых, впервые в предметной области оптимизацию функциональной структуры ПИКС (ее элементов) предваряет процедура синтеза структуры ПМИО ее АПСС. Таким образом, задача синтеза физической структуры ПИКС после применения концептуальной модели может быть представлена композицией задач оптимизации физической структуры СПД, структур ПМИО и управления АТ, функциональной структуры АТ. Сохранение глобальности подхода (минимизация неконтролируемой ошибки декомпозиции) обеспечивается за счет произведенного на метамодели распределения требований метасистемы по подсетям и компонентам.

4. В предметной области при синтезе транспортной инфраструктуры постулируется, что идеальная СПД для ПИКС должна иметь абсолютно надежные физические модули (узлы коммутации и каналы связи, а также системы, обеспечивающие их функционирование), а объем ее ресурсов пропускной способности должен быть не меньше пикового объема информации (в единицах измерения объектов учета), поступающей от многомодальных источников информации. Однако реальная СПД для ПИКС имеет ограниченно надежные физические модули, объем ее ресурсов пропускной способности, как правило, меньше (по экономическим соображениям) пикового объема информации, поступающей от многомодальных источников информации. Следовательно, в разделе произведена модификация известного инструментария синтеза топологической, потоковой, протокольной и физической структур в направлении более полного учета специфики передачи информации в виде сигналов модальностей. При этом используется 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.

Раздел 4 ПРИЛОЖЕНИЯ РАЗРАБОТАННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ТЕОРИИ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ПОЛИМОДАЛЬНЫХ ИНФОКОММУНИКАЦИОН- НЫХ СИСТЕМ ДЛЯ НУЖД ДОЛЖНОСТНЫХ ЛИЦ ОРГАНОВ ГОСУ- ДАРСТВЕННОГО ВЛАСТИ

В настоящем разделе предлагаются специальные элементы теории построения ПИКС и предложения по их реализации на практике. Средством актуализации полученных новых теоретических знаний к потребностям практики является сформулированная в подразделе 4.1 концепция построения ПИКС государственного управления. В подразделе 4.2 показаны направления применения предложенных выше моделей, методик и алгоритмов для построения и обеспечения эффективной эксплуатации инфокоммуникационных систем государственного управления. Подраздел 4.3 содержит примеры реализации полимодальных услуг в интересах субъектов информационного пространства. Вопросы, рассмотренные в настоящем разделе, нашли отражение в [29, 32, 34, 36, 37, 40, 45-49, 52, 75, 114, 132, 134, 135, 141-160, 201, 229, 231].

4.1. Концепция полимодальной инфокоммуникационной системы государственного управления

Концепция построения полимодальной инфокоммуникационной системы государственного управления (далее – *Концепция*) содержит цели, задачи, принципы и способы построения устойчивой и безопасной инфокоммуникационной системы государственного управления (для нужд органов государственной власти) нового типа.

В широком смысле *Концепция*, являясь понятием более высокого, чем метод синтеза (раздел 3) уровня общности, охватывает как теоретический, так и практический аспекты решения сформулированной в настоящем исследовании проблемы. В данном разделе *Концепция* выступает как инструмент актуализации элементов теории построения ПИКС к потребностям практики построения систем

инфокоммуникаций для СГУ (ОГВ). Детализация излагаемых ниже общих положений *Концепции* далее может быть произведена в соответствии с требованиями конкретных структур (метасистем) органов государственной власти и назначением их ИКС.

Общие положения Концепции включают следующие элементы:

условия и факторы, определяющие разработку элементов теории и практику организации ПИКС;

принципы организации распределенной ПИКС государственного управления;

цель функционирования и задачи распределенной ПИКС государственного управления;

формы и способы представления в АТ ПИКС государственного управления передаваемой между абонентами информации;

формы и способы организации процесса транспортирования блоков данных через СПД ПИКС государственного управления в различных условиях;

масштабы развертывания ПИКС государственного управления;

причины, затрудняющие в настоящее время организацию распределенной ПИКС государственного управления на практике, направления и пути их устранения;

тенденции и закономерности развития проблемы построения распределенных ПИКС государственного управления на перспективу.

Настоящие исследования позволили выделить *ключевые факторы и условия* (раздел 1), определяющие необходимость реализации разработанных элементов теории в практику построения ПИКС ГУ.

Предлагаемая в работе полимодальность ИКС в смысле преодоления перечисленных диспропорций позволит:

в условиях постоянно возрастающего объема требований пользователей СГУ к количеству и качеству предоставляемых инфокоммуникационных услуг (качеству предоставляемой информации) и ситуационности их деятельности

обеспечить эффективность их коммуникативного взаимодействия, близкую к реальной;

повышать реальный уровень развитости действующей информационной инфраструктуры длительное время только за счет совершенствования АПСС, без замены самой дорогостоящей части СПД – направляющих систем электросвязи (оптических кабелей);

осуществлять внедрение АПСС, разработанных в рамках новых инфокоммуникационных технологий, без замены компонентов СПД, а посредством оптимизации ФХ его активных компонентов;

обеспечить требуемый уровень защищенности ПИКС ГУ за счет комплексного применения как традиционных СЗИ, так и систем квантовой криптографии, оптической стеганографии, средств контроля защищенности и отказоустойчивости структуры сети в целом;

использовать при проектировании (синтезе) ОТС, с одной стороны, весь ресурсосберегающий потенциал существующих теорий и методологий построения транспортных сетей, а с другой, – системно реализовать все возможности новой идеи инвариантности ОТС к технологии передачи.

Принципы организации распределенной ПИКС и *требования* к ее ФХ вытекают из соответствующих принципов организации и требований метасистемы. Например, в ИКС, реализующих концепции *NGN* и *INS*, роль *опорной сети* транспортной плоскости играет ОТС [74, 77, 116], обеспечивая надежную передачу нагрузки между сетями доступа. Построение их АТ на основе многомодальных интерфейсов позволит реализовать помимо традиционных инфокоммуникационных услуг полимодальные услуги, обеспечив, таким образом, повышение эффективности коммуникативного взаимодействия ДЛ СГУ.

Масштабы развертывания СПД зависят от задач, возложенных на соответствующую ПИКС государственного управления и метода формирования транспортной инфраструктуры.

Основной причиной, затрудняющей в настоящее время организацию ПИКС на практике, является сохранение у большинства специалистов, разработчиков и

производителей АПСС отношения к ИКС как инерционной неадаптируемой системе. Вследствии этого большинство выпускаемых в настоящее время образцов оборудования имеют фиксированные значения ФХ активных компонентов, соответствующих принципу деления передаваемой информации на услуги. Господство "традиционных" АПСС и средств защиты информации, традиционных принципов построения АТ определили определенный застой в способах организации связи в ПИКС государственного управления и алгоритмах действия должностных лиц.

Таким образом, общие положения настоящей *Концепции* позволяют оформить желаемый системно-технический облик распределенной ПИКС 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 ОГВ с высокой эффективностью коммуникативного взаимодействия ее должностных лиц.

4.2. Применение элементов теории для разработки физических модулей полимодальных инфокоммуникационных систем

Разработка элементов теории ПИКС позволила определить новые направления развития элементной базы узлов связи с усовершенствованными функциональными характеристиками. Используя результаты проблемно-классификационного анализа предметной области, опираясь на выявленные новые рычаги управления элементами и подсистемами ПИКС, в ходе исследований был предложен целый комплекс инновационных физических модулей [145-147, 150, 156-160 и др.].

Такие физические модели реализуют как отдельные решения по построению СПД и АТ, так и их отдельные функциональные элементы. Так свойство полимодальности ПИКС позволило разработать *обнаружитель*

активности речи [156] и анализатор основного тона и сигнала тон-шум [157], реализующие функции выделения основных модальностей акустического коммуникативного канала и их основных параметров соответственно.

Обнаружитель активности речи (рис. 4.1) позволяет эффективно разделять акустический сигнал на речевой сигнал и паузы путем вычисления энергии спектра сигнала на основе авторегрессионной модели с использованием коэффициентов линейного предсказания и при этом обладает низкой вычислительной сложностью по сравнению с известными аналогами.

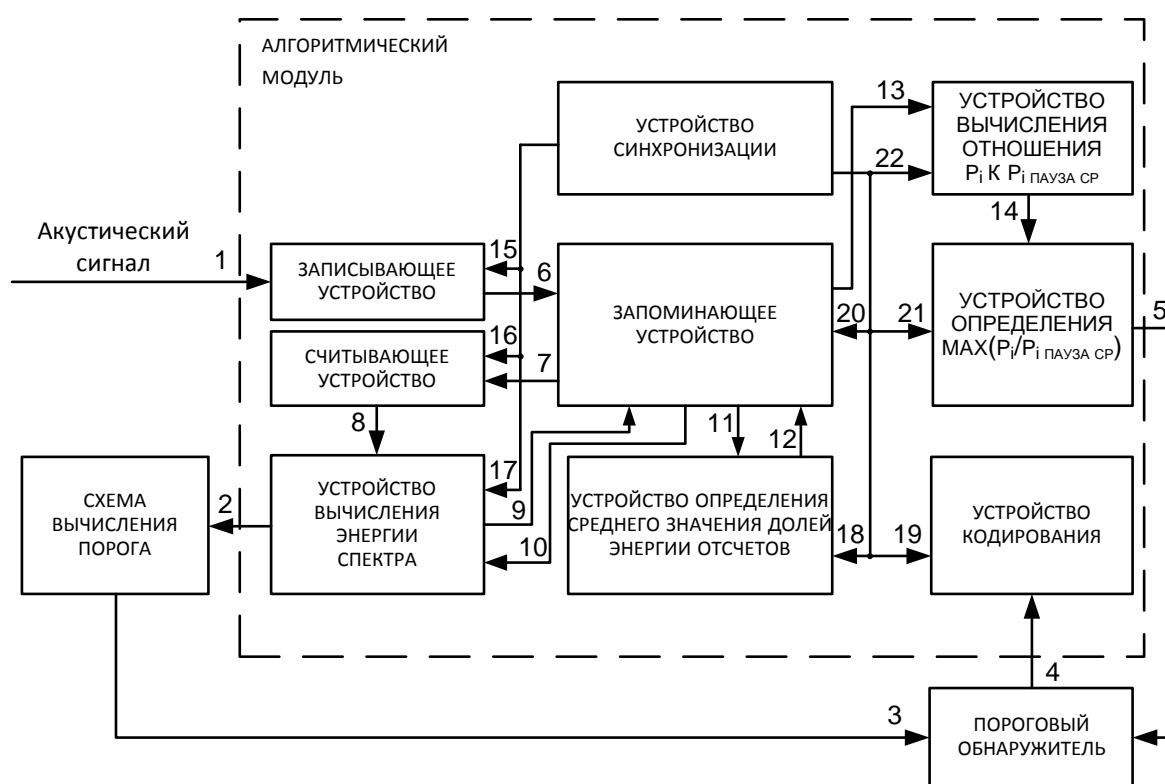


Рисунок 4.1 – Обнаружитель активности речи

Анализатор основного тона и сигнала тон-шум (рис. 4.2) позволяет точно оценивать частоту основного тона речевого сигнала путем определения максимума нормированной функции автокорреляции, инвариантной к длине обрабатываемого блока данных, и коррекции полученных значений частоты основного тона с использованием алгоритма динамического программирования.

Кроме устройств, повышающих эффективность функционирования элементов субуровня, в ходе исследований разработано оборудование для

улучшения ФХ макроуровня ПИКС. Так, для обеспечения перевода транспортируемой нагрузки в случае выхода из строя одного из элементов СПД может применяться автоматическое устройство неблокируемой маршрутизации, идея которого представлена на рисунке 4.3 [158].

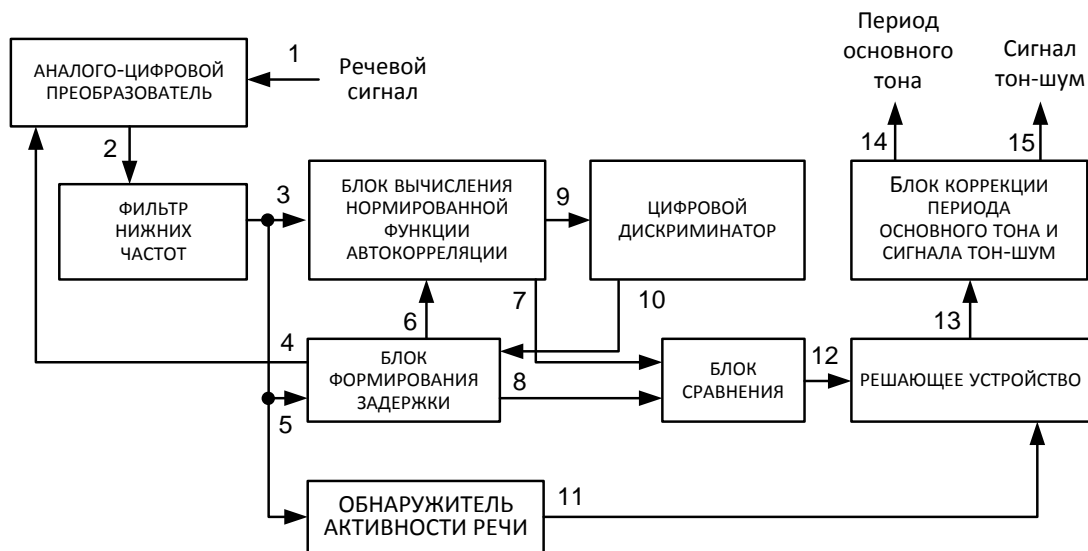


Рисунок 4.2 – Анализатор основного тона и сигнала тон-шум

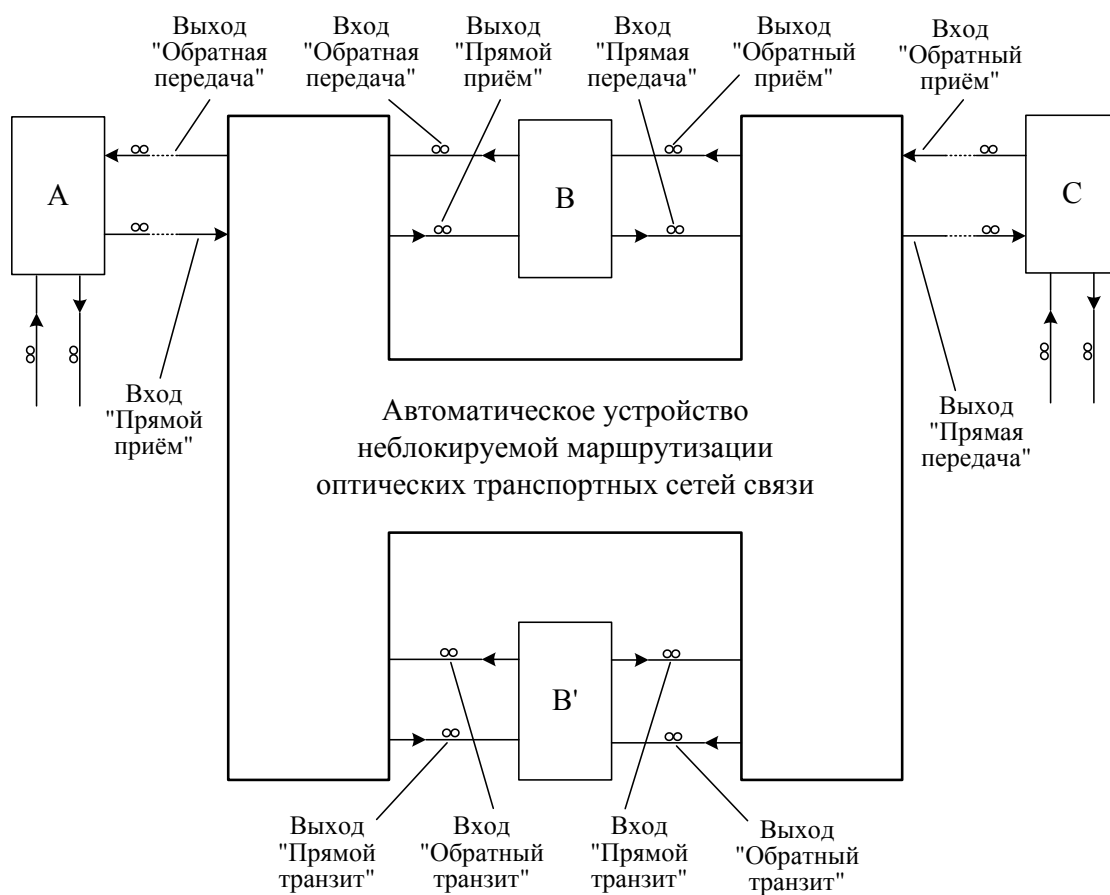


Рисунок 4.3 – Устройство неблокируемой маршрутизации

При отказе одного из узлов, обеспечивающих передачу оптических сигналов с различными несущими по ОВ, предлагаемое устройство вместо АПСС основного узла включит АПСС другого направления за время не более 50 мс.

Средством актуализации идеи инвариантности тракта (сети) к технологии передачи, требуемой для обеспечения мультисервисности ПИКС является физический модуль [150], представленный на рисунке 4.4.

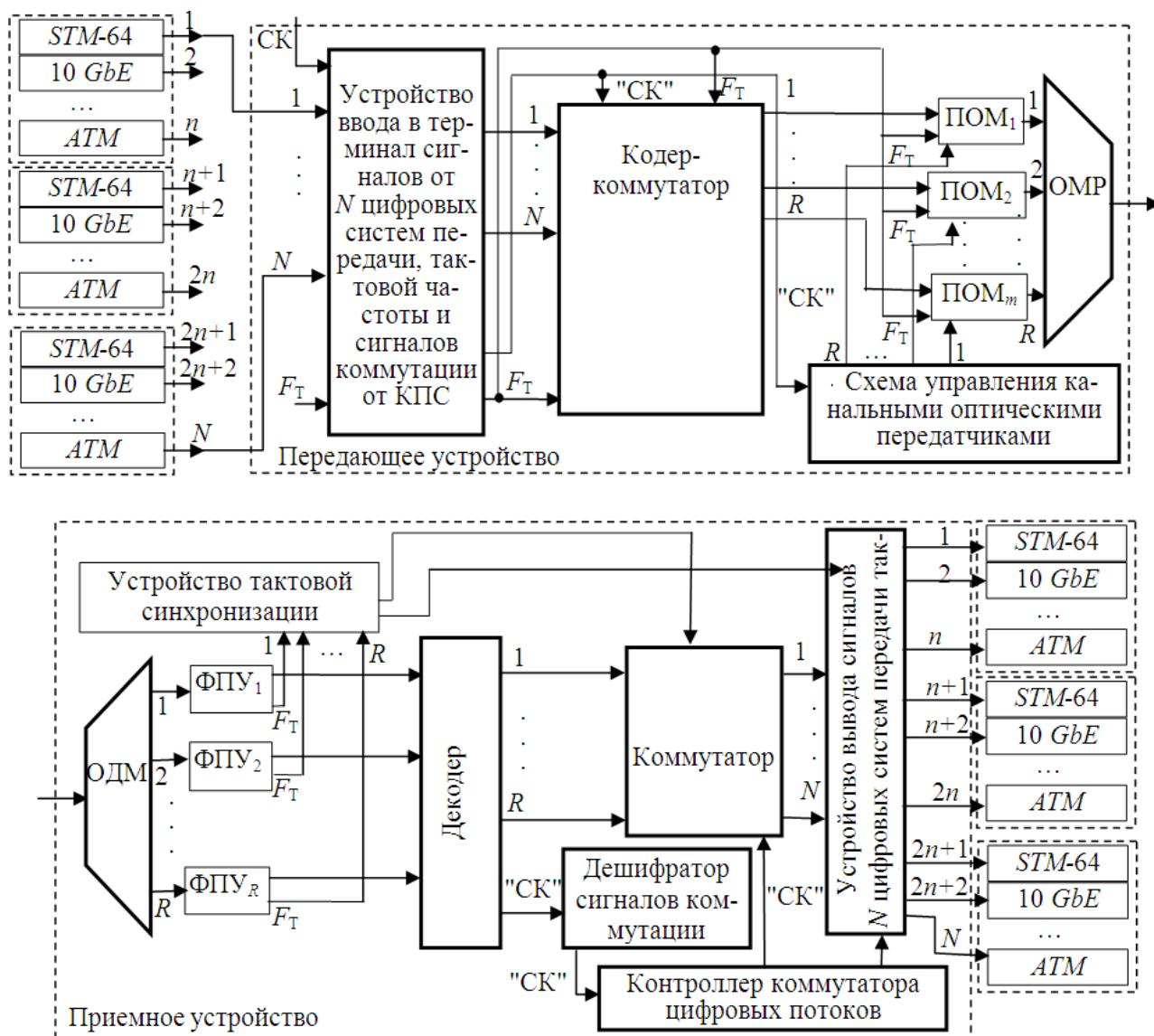


Рисунок 4.4 – Устройство распределения потоков каналобразующих АПСС по спектральным каналам ВОЛТ

При наличии на взаимодействующих узлах связи идентичных комплектов интегрированных АПСС, включающих средства коммутации и

мультиплексирования разных типов, данное устройство позволяет проключение того выходного электрического сигнала на вход ВОЛТ, который наиболее соответствует ситуации в СПД. Информационный поток при этом проключается на то АПСС, которое по предварительным расчетом определено как наиболее подходящее (по своевременности, достоверности и/или безопасности) в наблюдаемой ситуации в ПИКС. Реализация представленного физического модуля позволит получить максимальный эффект при активном динамическом взаимодействии оборудования транспортной сети с оконечной и коммутационной аппаратурой сети доступа, что соответствует давно проповедуемой идее интеграции первичных и вторичных сетей связи.

Для реализации виртуального канала связи управления или передачи данных польмодальных услуг по СПД на основе ВОЛТ в результате исследований были разработаны *способ и устройство передачи дополнительных данных* методом вторичной модуляции сигнала-контейнера на выходе типового передающего оптического модуля (рис. 4.5).

Устройство позволяет передавать дополнительную информацию переменной скорости с заданной достоверностью [157]. Благодаря введению на физическом уровне решающей обратной связи и регулируемых элементов в тракт прохождения дополнительного сигнала, появляется возможность адаптации скорости передачи к качеству канала передачи дополнительных данных, за счет чего достоверность приема дополнительных данных существенно повышается (табл. 4.1).

Таблица 4.1 – Характеристики устройства передачи дополнительных данных

Скорость дополнительных данных, Мбит/с	Индекс модуляции	Вероятности ошибки	
		канала полезных данных	канала дополнительных данных в предлагаемом способе
0,064	0,2	$2 \cdot 10^{-12}$	$7,53 \cdot 10^{-11}$
2,048	0,2	$2 \cdot 10^{-12}$	$2,17 \cdot 10^{-10}$
8,448	0,1 – 0,15	$2 \cdot 10^{-11}$	$2,7 \cdot 10^{-10}$
34,368	0,08	$2 \cdot 10^{-10}$	$3,2 \cdot 10^{-9}$

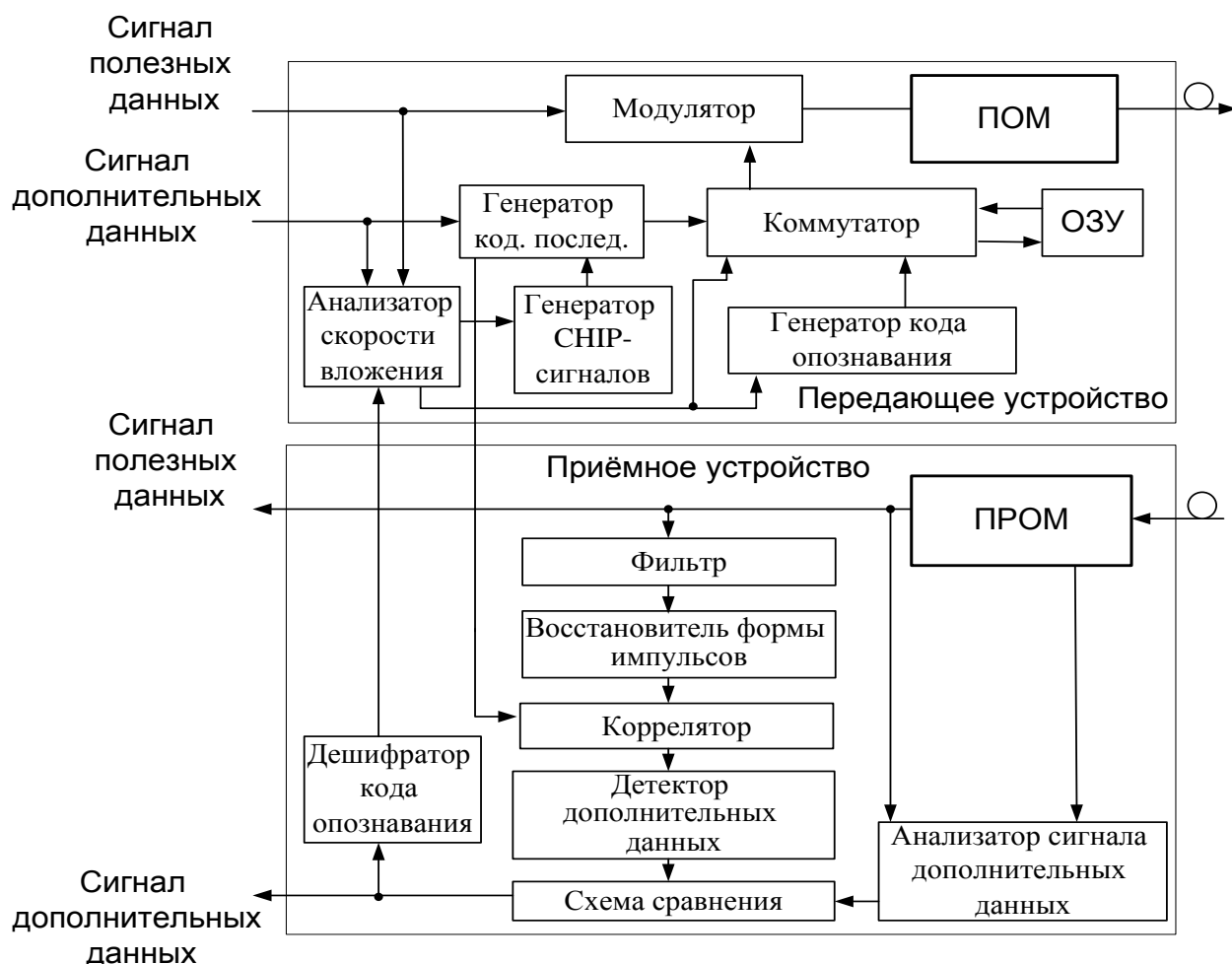


Рисунок 4.5 – Устройство передачи дополнительных данных по ВОЛТ

Эти и другие разработанные в ходе исследований устройства свидетельствуют о конструктивизме избранного подхода к решению проблем практики и теории, практической ценности предлагаемых в работе моделей, алгоритмов, методик оптимизации и метода синтеза.

4.3. Прикладные результаты реализации полимодальных услуг

4.3.1. Определение психофизиологического состояния пользователя

Устройства ввода современных АТ, как правило, содержат микрофон, клавиатуру и манипулятор типа «мышь» (далее – «мышь»). Данные факты указывают на возможность использования многомодальных входных

интерфейсов АТ (рис. 4.6) для оценки психофизиологического состояния (ПФС) абонентов (операторов).

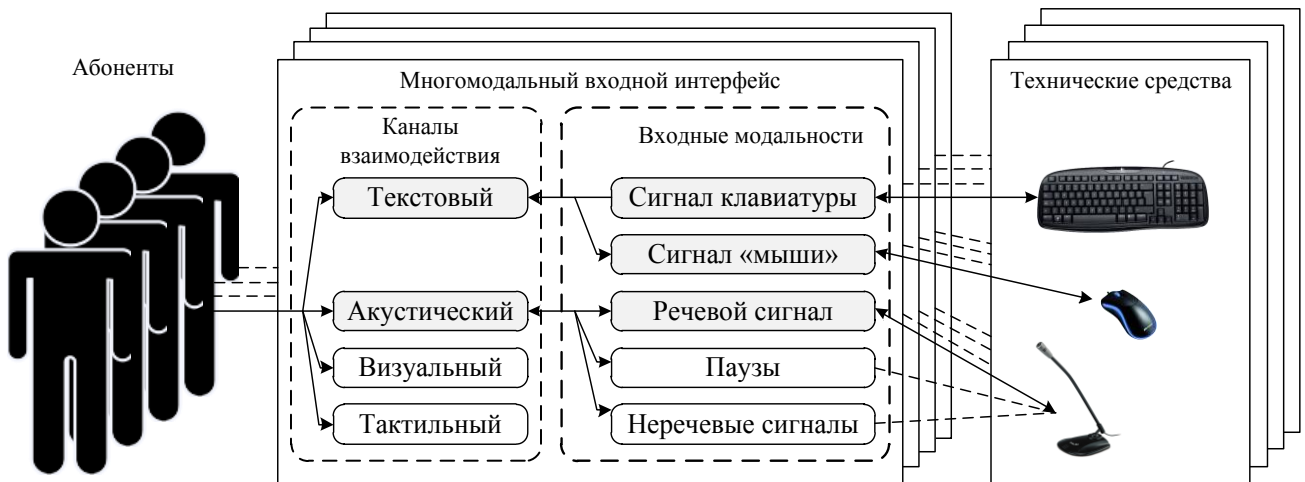


Рисунок 4.6 – Общая структура взаимодействия абонентов и технических средств ввода АТ

В работах [131-135] для определения отклонений психофизиологического состояния предложено использовать статистические характеристики джиттера сигналов различной модальности. Как отмечалось выше (п. 1.2.1) единый подход к формализации и исследованию сигналов является характерной особенностью многомодальных интерфейсов, позволяющей на основе одинаковых математического и программного обеспечений производить оценку психофизиологического состояния человека по доступным для анализа модальностям. Установление зависимости последней от интегральных характеристик сигналов многомодального входного интерфейса составляют основу задачи моделирования психофизиологического состояния абонента.

В качестве сигналов психофизиологического состояния абонента предложены джиттер $Jitter^{T_{OT}}$ периода основного тона T_{OT} речевого сигнала, джиттер $Jitter^{t_{НАЖ}}$ длительности нажатия $t_{НАЖ}$ и $Jitter^{T_{НАЖ}}$ интервала между нажатиями $T_{НАЖ}$ на кнопки на клавиатуре, джиттер $Jitter^{t_{НАЖ.ЛКМ}}$ длительности

нажатия $t_{\text{НАЖ.ЛКМ}}$ и $Jitter^{T_{\text{НАЖ.ЛКМ}}}$ интервала между нажатиями $T_{\text{НАЖ.ЛКМ}}$ на левую клавишу «мыши», а также джиттер $Jitter^{T_{\text{МЫШЬ}}}$ сигнала ее перемещения $T_{\text{МЫШЬ}}$. Для их формирования разработаны соответствующие алгоритмы оценивания величин T_i [133].

Расчет значений джиттера $Jitter^{(i)}$ для речевых сигналов 17 человека (длительность 104 мин) и сигналов клавиатуры и «мыши», зарегистрированных от 26 испытуемых (длительность 183 мин), находящихся в различных психофизиологических состояниях (состояние искусственно изменялось под влиянием физических и психологических нагрузок), позволил экспериментально получить их распределения. Оценивание степени близости теоретических распределений к эмпирическим по критерию А. Н. Колмогорова позволило принять при критическом уровне значимости $\alpha = 0,01$ гипотезы о нормальности распределения указанных величин. Результаты статистического анализа этих величин отдельно для каждого испытуемого указали на их непараметрический характер и необходимость дальнейшего анализа.

В [135] предложена методика определения интегральных характеристик джиттера (рис. 4.7), позволяющая установить отклонение психофизиологического состояния оператора от нормы. В соответствии с ней формируется общий джиттер (Total Jitter – TJ) доступных сигналов текстового и/или речевого каналов многомодального входного интерфейса

$$TJ = \left[Jitter^{T_{\text{ОТ}}}, Jitter^{T_{\text{НАЖ}}}, Jitter^{T_{\text{НАЖ}}}, Jitter^{T_{\text{НАЖ.ЛКМ}}}, Jitter^{T_{\text{НАЖ.ЛКМ}}}, Jitter^{T_{\text{МЫШЬ}}} \right].$$

Далее из общего джиттера $Jitter^{T_{\text{НАЖ}}}$ и $Jitter^{T_{\text{НАЖ}}}$ известными способами устраняются компоненты DDJ , зависящие от данных – межсимвольная интерференция ISI и искажение коэффициента заполнения импульсной последовательности DCD .

Для устранения интерполяции неизвестных значений джиттера по ближайшим известным, что является недостатком существующих способов

разделения периодического PJ и случайного RJ джиттера, предложен алгоритм, состоящий из следующих этапов.

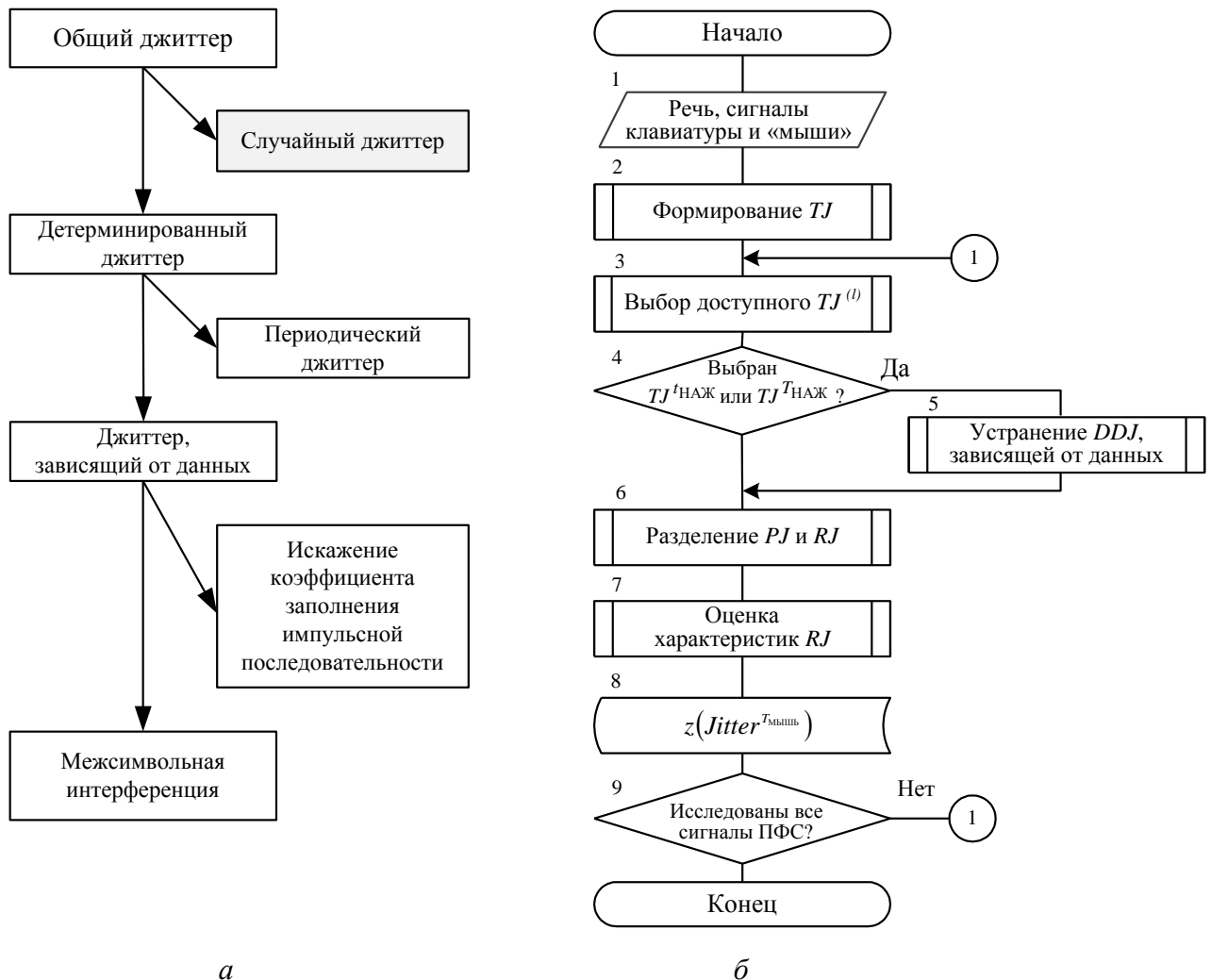


Рисунок 4.7 – Джиттер сигналов многомодального входного интерфейса:

a – взаимосвязь компонент; *б* – методика определения интегральных характеристик

I. Переход из временной в частотную область анализа путем заполнения неизвестных значений джиттера нулями, ее взвешивания окном $w(i)$ и выполнения операции ДПФ.

II. Определение методом Уэлча (P – число усредняемых сегментов; J – количество отрезков, на которые делится частотный диапазон сигнала) пиковых значений амплитудного спектра последовательности значений джиттера, соответствующих периодическому джиттеру.

III. Формирование частотной характеристики фильтра и фильтрация с помощью ДПФ для выделения периодической (случайной) компоненты джиттера.

IV. Переход из частотной во временную область путем выполнения обратного ДПФ от спектра, содержащего только периодические (случайные) составляющие, и умножения сигнала на обратную оконную функцию.

Зависимости полученных частот периодических составляющих PJ от времени имеют сложный характер, обусловленный следующими факторами:

- влиянием интонационного рисунка произносимых фраз и характером колебаний голосовых связок – для $PJ^{T_{от}}$;
- паразитной модуляцией сигнала клавиатуры («мыши») гармониками питающего напряжения – для $PJ^{t_{наж}}$, $PJ^{T_{наж}}$, $PJ^{t_{наж.лкм}}$, $PJ^{T_{наж.лкм}}$;
- возвратными движениями «мыши» при достижении границ рабочей области (экрана) – для $PJ^{T_{мышь}}$.

Поэтому для определения интегральных характеристик $z(Jitter^{(l)})$ в проведенном исследовании предложено использовать только случайные компоненты джиттера сигналов ПФС абонента (оператора) [135].

В результате экспериментальных исследований установлено, что случайный джиттер $RJ^{T_{от}}$, $RJ^{t_{наж}}$, $RJ^{T_{наж}}$, $RJ^{t_{наж.лкм}}$, $RJ^{T_{наж.лкм}}$, $RJ^{T_{мышь}}$ имеет нормальное распределение, а его интегральной характеристикой является:

$$z(Jitter^{(l)}) = 100 \left(\left\{ \bar{R} : |RJ^{(l)}| > Thr^{(l)} \right\} \right) / R [\%], \quad (4.1)$$

где \bar{R} – число кадров анализируемого сигнала, на которых абсолютное значение случайного джиттера превышает пороговое значение $Thr^{(l)}$ (получен экспериментально для каждого $RJ^{(l)}$); R – число кадров, на которых определен $RJ^{(l)}$.

Для получения оценок f_i в [135] обосновано использование стратегии раннего объединения модальностей на основе обобщенной функции Харрингтона:

$$f_i = \sqrt[N]{d_1 \cdot \dots \cdot d_l \cdot \dots \cdot d_N}, \quad (4.2)$$

где N – число доступных для анализа сигналов ПФС оператора; d_l – локальные решения о ПФС оператора, полученные с использованием логистической функции («кривой желательности») Е. К. Харрингтона (рис. 4.8):

$$d_l = \exp[-\exp(-y_l)] \quad (4.3)$$

с двумя участками насыщения (при $d \rightarrow 0$ и $d \rightarrow 1$) и линейным участком ($d = 0,2 \dots 0,63$).

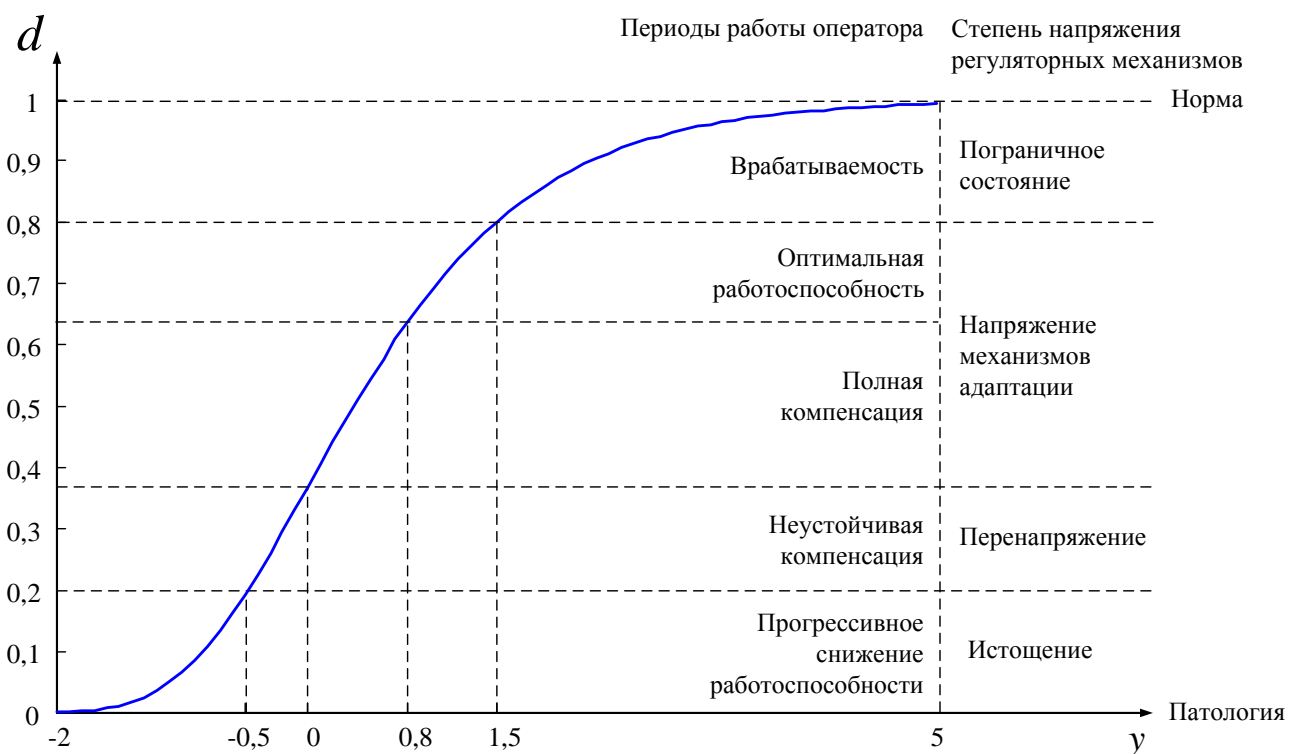


Рисунок 4.8 – Логистическая функция Харрингтона

К ее достоинству относится вероятностный характер получаемых оценок, описываемых непрерывной, монотонной и гладкой функциями и учитывающих степень напряжения регуляторных механизмов и периоды умственной работоспособности человека [183]. Последние хорошо вписываются в рассматриваемую Р. М. Баевским [6] классификацию степеней напряжения регуляторных механизмов: напряжение, перенапряжение, истощение.

При этом значения интегральных характеристик (4.1) распределяются на промежутке эффективных значений шкалы частных показателей (4.3) следующим образом:

$$y^{(l)} = \frac{z_{\max}^{(l)} - z(Jitter^{(l)})}{z_{\max}^{(l)} - z_{\min}^{(l)}}, \quad (4.4)$$

где $z(Jitter^{(l)})$, $z_{\max}^{(l)}$, $z_{\min}^{(l)}$ – значения интегральной характеристики l -го джиттера, верхней и нижней границ области «Полная компенсация» шкалы y (рис. 4.8) соответственно.

Оценки ПФС f_i могут быть использованы для реализации соответствующей полимодальной услуги при диалоге и полилоге ДЛ СГУ посредством инфокоммуникаций [153]. Оригинальной является идея применения указанных оценок для распределения заявок на установление соединения с вышестоящим ДЛ.

Кроме того, оценки f_i могут быть положены в основу задачи оптимального распределения функций между операторами (рис. 4.2) [132]:

$$E = \sum_{i=1}^M E_i = \sum_{i=1}^M f_i \sum_{j=1}^N e_{ij} x_{ij} \rightarrow \max \quad (4.5)$$

при условии закрепления достаточного числа операторов за каждой функцией

$$\sum_{i=1}^M x_{ij} = 1$$

и ограничениях на их загрузку

$$\sum_{j=1}^N x_{ij} Q_j \leq q_i,$$

где $E_i = f_i \sum_{j=1}^N e_{ij} x_{ij}$ – производительность i -го оператора;

$e_{ij} = w_j \sum_{k=1}^K (\min(P_{ik}, R_{jk})) / \sum_{k=1}^K R_{jk}$, – эффективность закрепления i -го оператора за

j -й функцией; w_j – показатель значимости j -й функции $\left(\sum_{j=1}^N w_j = 1 \right)$;

$\bar{R}_j = (R_{j1}, R_{j2}, \dots, R_{jk}, \dots, R_{jK})$ – нормативный профиль j -й функции, представляющий требуемые уровни компетенций оператора, необходимые для выполнения j -й функции ($j = \overline{1, N}$); $\bar{P}_i = (P_{i1}, P_{i2}, \dots, P_{ik}, \dots, P_{iK})$ – квалификационный профиль (профиль компетенций) i -го оператора ($i = \overline{1, M}$); P_{ik} – фактический уровень i -го оператора по k -й компетенции ($k = \overline{1, K}$); $0 \leq x_{ij} \leq 1$ – доля j -й функции, выполняемая i -м оператором; Q_j – трудоемкость выполнения j -й функции; q_i – трудовой ресурс i -го оператора.

Решение задачи (4.5) симплекс-методом позволяет перераспределить функции между операторами:

$$q_i^{\text{ФАКТ}} = \sum_{j=1}^N x_{ij} Q_j,$$

временное исключение операторов, у которых наблюдается прогрессивное снижение работоспособности. Численные результаты решения задачи (4.5) представлены в [131].

4.3.2. Определение эмоций абонента по голосу

Услугу «Определение эмоционального состояния абонента» целесообразно использовать в системах передачи и отображения медико-биологической информации, криминалистической фоноскопии, информационно-управляющих системах и др. Кроме того, большой интерес к системам удаленной оценки эмоционального состояния человека проявляет психосоматическое направление в медицине, позволяющее посредством анализа эмоций повысить точность диагностирования некоторых заболеваний.

Существует несколько способов определения эмоционального состояния человека: на основе оценки электрического сопротивления кожи и сердечно-сосудистой активности человека, с использованием мимики лица и телодвижений и путем обработки речевого сигнала [108].

Анализ эмоционального состояния человека посредством электрического сопротивления кожи и сердечно-сосудистой активности позволяет с достаточной точностью определять состояние испытуемого, в том числе осуществить оценку достоверности произносимой им информации. К существенному недостатку этого метода следует отнести необходимость использования контактных датчиков, прикрепляемых к телу человека.

Использование мимики и лица и телодвижений для оценки эмоционального состояния человека в последние годы получило широкое распространение. В то же время, данный метод также имеет ряд ограничений при использовании в ПИКС: необходимость анфасного расположения лица испытуемого перед устройством ввода визуального сигнала, высокое качество видеоизображения, высокую скорость передачи информации в СПД.

Избежать недостатков, присущих указанным методам, позволяет анализ эмоционального состояния абонента на основе обработки речевого сигнала. В большинстве языков эмоционально-различительную функцию выполняет частота основного тона. Установлено, что среднее значение частоты основного тона поднимается в состоянии удовольствия и понижается в состоянии печали, кроме того существенно меняется динамика изменения частоты основного тона: при печали происходит ее плавное уменьшение, при гневe появляются резкие пики в изменении частоты. Таким образом, динамика изменения частоты основного тона является важнейшим средством определения эмоциональной информации, и позволяет повысить точность обнаружения эмоций для русского языка.

Для определения эмоций абонента по голосу выполняются следующие процедуры (рис. 4.9) [152].

Голосовой сигнал русскоязычного абонента, введенный через микрофон, квантуется с помощью аналого-цифрового преобразователя, а затем преобразуется в цифровой сигнал. Цифровой голосовой сигнал, полученный на выходе аналого-цифрового преобразователя, подается в блок обработки сигналов, блок обнаружения фонем, блок обнаружения слов и блок обнаружения частоты основного тона.

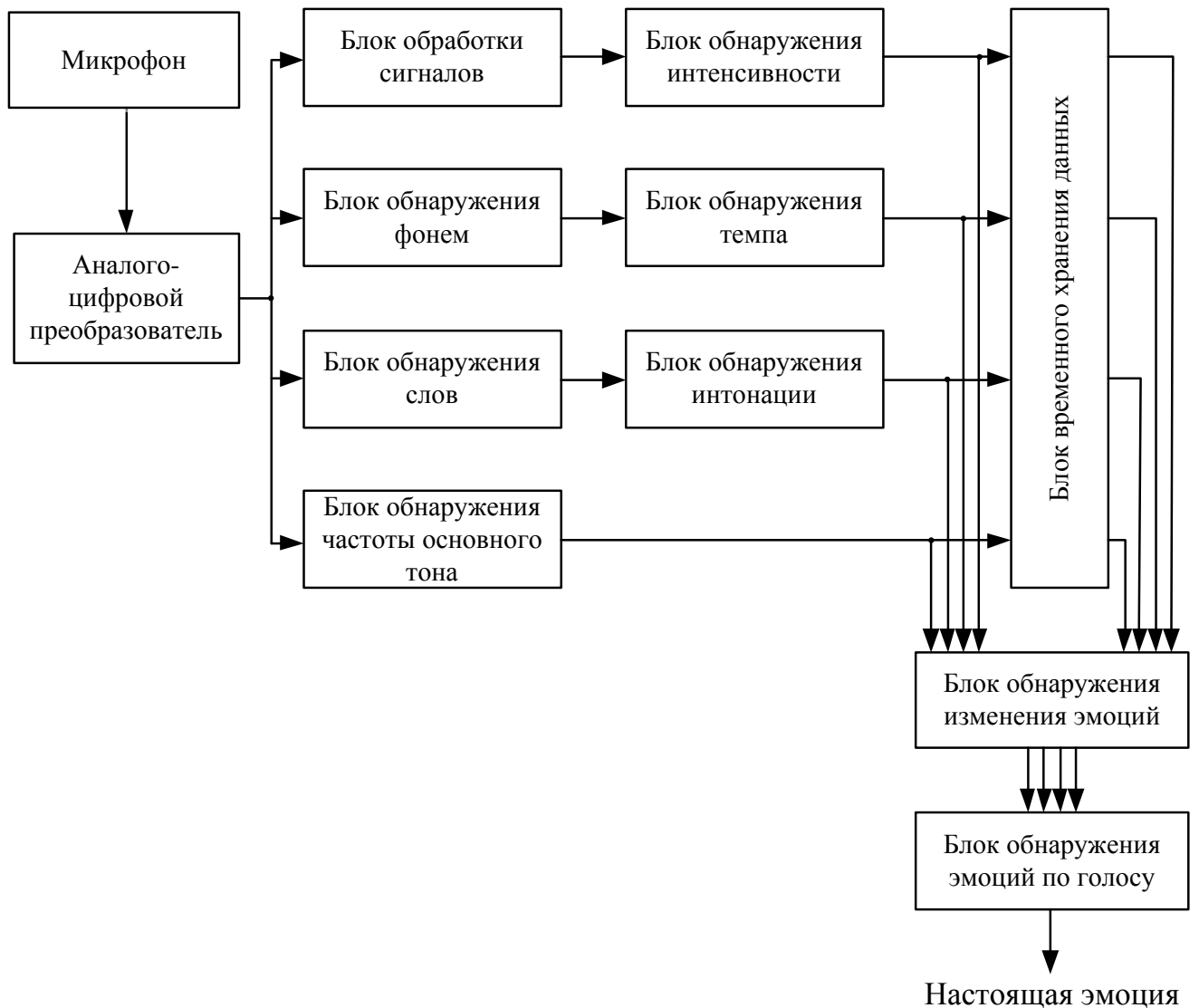


Рисунок 4.9 – Вариант реализации системы обнаружения эмоций по голосу

Блок обработки сигналов извлекает частотные составляющие, необходимые для обнаружения интенсивности голоса. Блок обнаружения интенсивности обнаруживает интенсивность сигнала, извлеченного блоком обработки сигналов. Например, в качестве интенсивности можно использовать результат, полученный путем усреднения величины амплитуды голосового сигнала или его динамического диапазона D .

Блок обнаружения фонем реализует сегментацию каждой фонемы голосового сигнала, введенного в него. Блок обнаружения темпа принимает сигнал сегментации каждой фонемы, выданный блоком обнаружения фонем, и обнаруживает число фонем F , которые появляются в единицу времени. В качестве

цикла обнаружения темпа устанавливается время, равное, например, 10 с. Однако, если обнаружена сегментация фразы, то отсчет фонем останавливается до момента времени обнаружения сегментации фразы, даже если сегментация фразы обнаружена внутри 10 с, и вычисляется величина темпа. В частности, темп определяется для каждой фразы.

Блок обнаружения слов реализует сегментацию каждого слова голосового сигнала, введенного в него. Блок обнаружения интонации принимает сигнал сегментации каждого слова, выданный блоком обнаружения слов, и обнаруживает интонацию, выражающую рисунок изменения интенсивности голоса в слове. Таким образом, блок обнаружения интонации обнаруживает характеристический рисунок интенсивности в сегментации. Как показано в прототипе, в блоке обнаружения интонации предусмотрены полосовой фильтр, блок преобразования абсолютной величины, блок сравнения, блок обнаружения центра зоны и блок обнаружения интервала зон. В качестве величины интонации I на выходе блока обнаружения интонации выступает результат усреднения значений интервалов, между зонами в спектре мощности сигналов, для которых характерно превышение некоторого порогового значения.

Блок обнаружения частоты основного тона реализует определение указанной частоты для введенного в него голосового сигнала, например, в соответствии с разработанным решением [157].

Эмоциональное состояние человека изменяется, поэтому для правильного определения эмоций, включающих гнев, страх, печаль и удовольствие, обязательно необходимо обнаруживать изменение характеристических величин, таких как интенсивность D , темп F , интонация I и частота основного тона F_{OT} .

В подсистеме обнаружения эмоций (рис. 4.9) с целью обеспечения возможности опоры на величины характеристик в прошлом, величину интенсивности D , выдаваемую блоком обнаружения интенсивности, величину темпа F , выдаваемую блоком обнаружения темпа, величину интонации I , выдаваемую блоком обнаружения интонации, и величину частоты основного тона

F_{OT} , выдаваемую блоком обнаружения частоты основного тона, временно сохраняют в блоке временного хранения данных.

Кроме того, блок обнаружения изменения эмоций принимает имеющуюся величину интенсивности D , выдаваемую блоком обнаружения интенсивности, имеющуюся величину темпа F , выдаваемую блоком обнаружения темпа, имеющуюся величину интонации I , выдаваемую блоком обнаружения интонации, и имеющуюся величину частоты основного тона F_{OT} , выдаваемую блоком обнаружения частоты основного тона. Блок обнаружения изменения эмоций также принимает прошлые величины интенсивности, темпа, интонации и частоты основного тона, которые хранятся в блоке временного хранения данных. Таким образом, блок обнаружения изменения эмоций обнаруживает изменения в интенсивности, темпе, интонации и частоте основного тона голоса, соответственно. Блок обнаружения эмоций по голосу принимает изменения интенсивности ΔD , темпа ΔF , интонации ΔI и частоты основного тона ΔF_{OT} голоса, которые выдает блок обнаружения изменения эмоций, оценивает текущее эмоциональное состояние и генерирует сигналы, выражающие эмоциональное состояние гнева, страха, печали и удовольствия.

Для определения эмоционального состояния использовались записи эмоциональной речи 80 профессиональных актеров – мужчин и женщин в возрасте от 28 до 32 лет, являющихся носителями русского языка. Каждым из них были произнесены 4 слова (картон, тихо, молоко, посуда) с выражением четырех эмоциональных состояний: гнева, страха, печали и удовольствия.

Указанные записи обрабатывались согласно способу [152] и с использованием варианта реализации системы обнаружения эмоций по голосу (рис. 4.9). При этом блок обнаружения эмоций по голосу оценивал текущее эмоциональное состояние и генерировал сигналы, выражающие эмоциональное состояние гнева, страха, печали и удовольствия, согласно решающих правил определения эмоций, представленных ниже (табл. 4.2).

Для оценки точности определения эмоционального состояния русскоязычного абонента использовался коэффициент совпадений

$$K_i = \frac{N_{\text{совп.}i}}{N_i},$$

где $N_{\text{совп.}i}$ – число правильно определенных записей с выражением i -го эмоционального состояния; N_i – общее число записей с выражением i -го эмоционального состояния; $i = 1, 2, 3, 4$ – номер эмоционально состояния – гнева, страха, печали и удовольствия соответственно.

Таблица 4.2 – Решающие правила определения эмоций

Эмоция	Величины изменения			
	ΔD	ΔF	ΔI	$\Delta F_{\text{от}}$
Гнев	увеличение на 12-20 дБ	увеличение на 30-50 %	уменьшение на 50-70 %	увеличение на 140-210 %
Страх	уменьшение на 4,5-6,5 дБ	уменьшение на 15-20 %	уменьшение на 20-30 %	уменьшение на 35-50 %
Печаль	уменьшение на 2,5-3,5 дБ	равен норме	равен норме	уменьшение на 10-25 %
Удовольствие	увеличение на 3,5-6 дБ	увеличение на 15-20 %	увеличение на 10-15 %	увеличение на 35-70 %

Результаты оценивания предлагаемой реализации указывают на повышение точности определения эмоционального состояния по сравнению с известными решениями.

4.3.3. Определение степени алкогольной интоксикации пользователя на основе автоматического анализа речи

Наряду с представленными услугами, использующими для анализа речевой сигнал, на сегодняшний день существует неохваченная область исследований, в которой речь может быть источником дополнительной информации о состоянии человека: изменения пульса, температуры, кровяного давления, состава крови, аллергических реакций и т.д. Например, чрезмерное напряжение связок, т.е. наличие микровибраций в определенном участке частот, при производстве речи может повлечь повышение артериального давления или температуры, следовательно, пытаюсь оценить микротремор – степень напряженной работы

связок, можно спрогнозировать изменение внеречевых параметров состояния человека. Изменение качества распознавания речи при использовании инфокоммуникационных технологий (например, при телефонном разговоре) может служить источником информации о степени алкогольной интоксикации абонента [37].

В проводимом исследовании была применена система интегрального распознавания и понимания речи SIRIUS [94], содержащая такие этапы обработки как: параметризация речевого сигнала, распознавание слитной речи, а также семантико-синтаксическую оценку связности произнесенной фразы (рис. 4.10).



Рисунок 4.10 – Система интегрального распознавания и понимания речи SIRIUS

В системе использовалась концепция интегрального понимания, реализующая объединение в одной системе акустических данных, информации о языке, предметной области и выполняемой задаче, а также их одновременной обработке при анализе речевой команды [277]. Выход каждого уровня

распознавания представляет собой множество гипотез с соответствующими оценками. Возможные неопределенности и ошибки, поступившие на текущий уровень (или возникшие на нем), уменьшаются или исключаются в ходе интегральной обработки. Суть интегральной обработки сводится к оценке входных гипотез по критериям соответствующих знаний. На основе частных оценок вырабатывается интегральная оценка. В результате входной сигнал оценивается по разным уровням знаний, а окончательное решение принимается по минимуму интегрального отклонения. Это делает модель робастной к вероятным отклонениям и выгодно отличает ее от общепринятой концепции последовательного разбора. Кроме того, разработанный инструментарий для интегральной оптимизации параметров модели позволяет достичь необходимой эффективности настройки баз данных, а также переносимости модели понимания на новую прикладную задачу.

Данная система обеспечивает робастное распознавание и понимание речи даже при возникновении частичных фонетических и грамматических искажений во входной фразе, а также позволяет уменьшить количество ошибок распознавания смысла в несколько раз по сравнению со стандартными подходами. Для устранения проблем, связанных со сложным механизмом словообразования, был внедрен дополнительный уровень представления речи – морфемный. При этом скорость и точность распознавания увеличиваются, что позволяет строить приложения, использующие распознавание русской речи в реальном времени [176].

Распознавание речевого сигнала и последующая оценка связности слов в произнесенной фразе и осмысленность самой фразы является важным критерием состояния диктора. Если характеристики голоса можно попытаться подделать, настолько точно, что на слух будет практически незаметно, то при произношении осмысленного, но незнакомого для абонента текста, всегда возникают ошибки в речи, связанные с характером человека, а также психофизиологическим состоянием, в том числе алкогольной интоксикацией. Такие же неточности возникают и при ответах на заранее подготовленные системой вопросы (при использовании вместо телефонии интерактивных информационных сервисов). Интегральным критерием алкогольной интоксикации человека служит точность

автоматического распознавания речи, произносимой человеком. Данный критерий учитывает как изменения параметров голосового тракта, так и семантико-синтаксическую связность произносимой человеком речи.

Целью эксперимента являлось определение зависимости точности автоматического распознавания речи от степени алкогольной интоксикации говорящего. В тестировании участвовали три человека, имеющие примерно одинаковую массу и принадлежащие к одной социальной группе. Для каждого тестируемого предварительно записывался образец голоса в нормальном состоянии. Число фраз, используемых для подготовки модели голоса без интоксикации, варьировалось от 200 до 800 предложений. Изменение в этих пределах не показало значительного снижения точности распознавания, в связи с чем был сделан вывод о возможности использования нижнего предела. После создания эталонной модели производилась запись для тестирования системы распознавания речи в нормальном состоянии, затем состояние тестируемых постепенно изменялось.

Результаты эксперимента показали, что точность распознавания существенно выше для дикторов без интоксикации, уровень ошибок распознавания особенно возрастает на первых стадиях интоксикации, затем постепенно фиксируется на определенном уровне, но все же значительно большем по сравнению с нормальным состоянием (рис. 4.11).

Следует заметить, что длительность тестовой фразы также влияет на точность распознавания (рис. 4.12). В начале тестирования диктор делает больше ошибок, и меньше в конце. Это объясняется видимо тем, что при произношении первой фразы диктор испытывает несколько большее волнение, что сказывается на качестве речи, а при увеличении интоксикации это волнение увеличивается.

Следует отметить, что разработанный подход ориентирован на применение в режиме реального времени, если же планируется проводить обработку речевых баз данных в оффлайн режиме, при котором накладываются менее жесткие требования по скорости обработки данных, то могут быть привлечены и другие более сложные средства автоматизированной обработки речи и текста [1, 194].

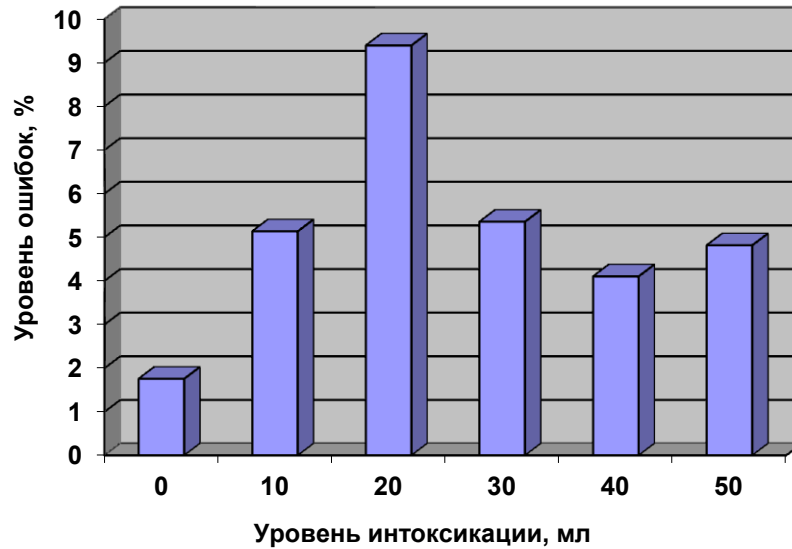


Рисунок 4.11 – Уровень ошибок распознавания в зависимости от степени интоксикации человека

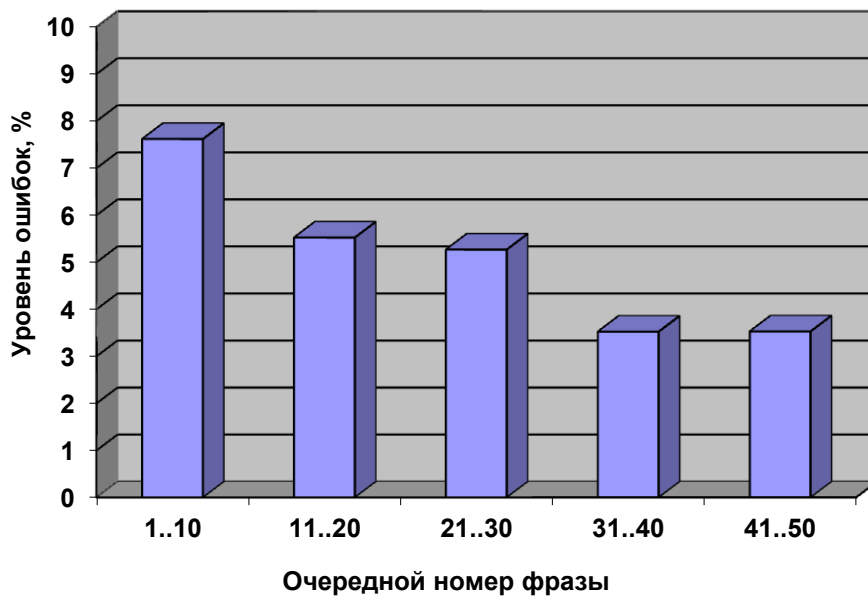


Рисунок 4.12 – Уровень ошибок распознавания в зависимости от номера фразы диктора

Полученные результаты свидетельствуют о приемлемой точности распознавания алкогольной интоксикации и возможности использования соответствующей полимодальной услуги в качестве средства мониторинга

опьянения лиц, состоящих на профилактическом учете. Актуальность такого мониторинга в условиях сокращения ДЛ полиции определяется приказом №1166 МВД России от 31 декабря 2012 г. «Вопросы организации деятельности участковых уполномоченных полиции», согласно которому последним предписывается функция по проведению индивидуальной профилактической работе с лицами, состоящими на профилактическом учете, в том числе больными алкоголизмом и наркоманией, состоящими на учете в медицинских организациях и представляющих опасность для окружающих [37].

4.3.4. Реализация услуги «честная видеотелефония»

Психофизиологическое состояние абонента может косвенно характеризовать его отношение к передаваемому сообщению. Предположим, что наряду с обменом сообщениями абонентов при коммуникативном взаимодействии интересуется их истинность (ложность). Объектами учета в данном случае становятся смысл (с показателем полноты x_1^{OY}) и оценка истинности (с показателем x_2^{OY}) сообщения. Тогда целостность передаваемой информации (1.18) можно определить следующим образом:

$$Ц_{ИНФ} = \frac{1}{2}(x_1^{OY} D_1 + x_2^{OY} D_2), \quad (4.6)$$

где D_1 и D_2 – достоверность определения смысла и истинности передаваемых сообщений соответственно.

Будем считать, что при осуществлении сеанса видеотелефонии абоненты способны полностью определить смысл передаваемых сообщений ($x_1^{OY} = 1$ при $D_1 = 1$), но не имеют специальной подготовки для определения истинности передаваемой информации ($x_2^{OY} = 0$). Тогда с учетом введенной декомпозиции, а также выражений (1.10) и (1.18) для эффективности соответствующей бимодальной системы можно записать:

$$\zeta_1^{\text{ИНФ}} \Big|_{\zeta^{\text{СПД}}=\text{const}} = \frac{\text{Пр}^{\text{ИНФ}}}{2 \cdot t_{\text{ОБР}} \cdot C_{\text{пр}}^{\text{ИНФ}}} \cdot \quad (4.7)$$

Для определения истинности в таких системах необходимо применение дополнительных аппаратно-программных средств (например полиграфа). Использование последних неизбежно приведет к увеличению времени обработки $t_{\text{ОБР}}$ входных сигналов и/или увеличению затрат $C_{\text{пр}}^{\text{ИНФ}}$ на их реализацию, а в итоге – к уменьшению удельной себестоимости инфокоммуникационных систем с аддитивным наращиванием модальностей:

$$\zeta_2^{\text{ИНФ}} \Big|_{\zeta^{\text{СПД}}=\text{const}} < \zeta_1^{\text{ИНФ}} \Big|_{\zeta^{\text{СПД}}=\text{const}} \cdot$$

При полимодальном представлении информации возможна оценка ложности сообщаемой информации по динамике параметров невербального поведения абонента ($x_2^{\text{ОУ}} = 1$), представляющей собой одно из наиболее перспективных направлений в области теоретической и прикладной психологии. Перспективность этого направления доказана результатами многих научных исследований, а реализация подразумевает наличие методического обеспечения выявления и подтверждения наиболее информативных параметров и способа реагирования, типичного для того или иного индивида.

Сущность услуги «честная видеотелефония» [36, 40, 231] заключается в следующем.

Предварительно изучив личность абонента (абонентов) на основе анализа различных источников информации (материалы личных дел, служебные характеристики, листки по учету кадрового состава и т. д.), оценивается возможность осуществления исследования с помощью структурированного интервью. Разрабатывается его программа с последующими реализацией и оценкой результатов непосредственно во время процедуры, а также проведением математической обработки результатов специалистом с применением любых достоверных способов обработки информации или без них.

Документирование процедуры структурированного интервью осуществляется на основе аудиовидеозаписи. Структура интервью складывается

из фрагментов (тестов), которые стандартизированы по категориям используемых блоков вопросов различного характера (нейтральные и контрольные). Нейтральные вопросы не касаются проверяемой темы, контрольные отражают обсуждение проблем социально неодобряемого поведения. Для анализа невербального поведения используются 16 показателей (рис. 4.19).

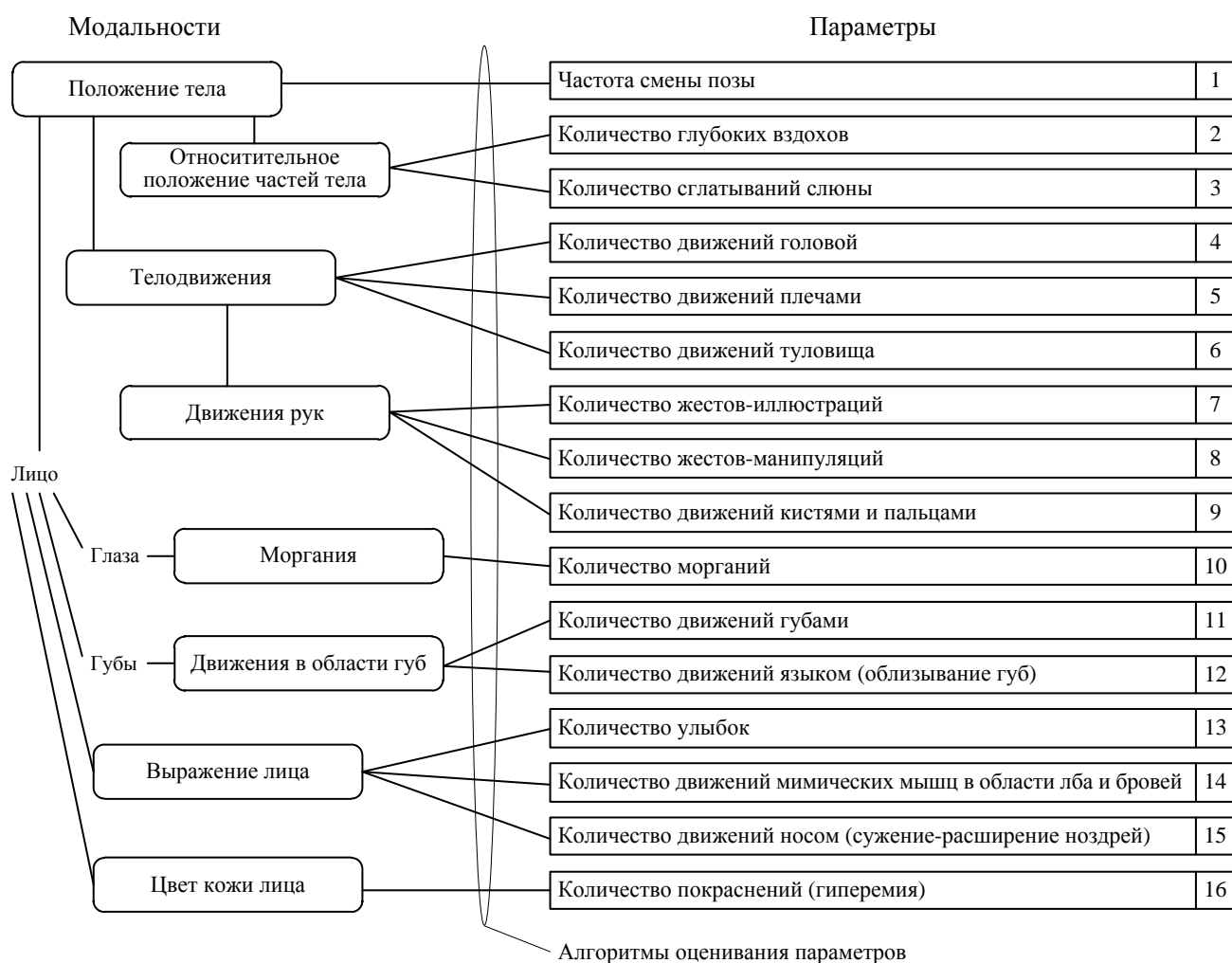


Рисунок 4.19 – Параметры невербального поведения человека, используемые для определения истинности (ложности) передаваемой им информации

При этом подразумевается два основных варианта обработки полученных результатов.

1. На основе количества реакций в абсолютных единицах, зафиксированных в протоколе, который заполняется непосредственно во время структурированного интервью. Этот подход позволяет рассчитать среднее количество реакций по

каждому параметру невербального поведения в минуту применительно к тому или иному блоку вопросов и провести сравнение реакций между блоками. Среднее количество реакций по каждому параметру невербального поведения в минуту определяется как

$$\bar{r}_i = \frac{r_i}{t_a}, \quad (4.8)$$

где r_i – количество реакций в абсолютных единицах по каждому параметру ($i = 1 \dots 16$); t_a – время анализа в минутах.

2. Возможна обработка полученных результатов на основе не только количества реакций, но и их выраженности непосредственно во время проведения интервью:

$$\bar{r}_i^* = \omega_i \frac{r_i}{t_a}, \quad (4.9)$$

где для определения ω_i используется система баллов (максимальный балл отражает наибольшую выраженность реагирования с учетом тенденции).

Структурированное интервью, как правило, проводится в процессе подготовки и проведения скрининговых проверок при приеме на работу, назначении на вышестоящие должности, определении профессиональной пригодности испытуемых. После таких проверок полученные результаты могут накапливаться и соответствующим образом обрабатываться для выявления характерной для исследуемого человека тенденции изменений по каждому параметру и/или группе параметров невербального поведения.

Тенденция в реагировании определяется на основе сопоставления показателей $\bar{r}_i^{(n)}$ нейтральной темы с показателями $\bar{r}_i^{(c)}$ контрольного блока вопросов. Если $\bar{r}_i^{(c)} > \bar{r}_i^{(n)}$, реакцией считается повышение показателя в нейтральном блоке вопросов над контрольными вопросами. Если $\bar{r}_i^{(c)} < \bar{r}_i^{(n)}$, то наоборот.

В результате эксперимента [227] была подтверждена гипотеза о существовании разницы в показателях невербального поведения испытуемых, сообщающих ложную информацию, по сравнению с показателями невербального поведения испытуемых, сообщающих истинную информацию. Выделены следующие общие тенденции в динамике параметров невербального поведения испытуемых в ситуации произнесения ими ложной информации по сравнению с ситуацией произнесения истинной информации:

- а) уменьшение количества движений головой (83,3 % случаев в среднем на 25,8 %);
- б) уменьшение количества движений ногами и стопами (66,7 % случаев в среднем на 34,08 %);
- в) увеличение количества улыбок (58,3 % случаев в среднем на 114,47 %);
- г) увеличение количества движений носом (расширение/сужение ноздрей) (58,3% случаев в среднем на 195,89 %);
- д) увеличение количества сглатываний (58,3 % случаев в среднем на 90,86 %);
- е) увеличение количества морганий (50 % случаев в среднем на 2,29 %).

В остальных случаях направление динамики анализируемых параметров невербального поведения носит индивидуальный характер и может изменяться как в сторону увеличения, так и в сторону уменьшения.

Непосредственно в процессе коммуникативного акта разработанный способ оценивания истинности (ложности) передаваемых сообщений предусматривает регистрацию параметров $r_i, i = 1...16$ невербального поведения (рис. 4.19) интересующего абонента (абонентов) ПИКС.

Результаты применения общей методики формирования множества допустимых системотехнических решений (рис. 4.20) на основе когнитивного (концептуального) моделирования требуемой ПИКС (рис. 4.21) показали, что по силе влияния управляющих факторов на целевые (табл. 2.1) их можно расположить в следующем порядке (от наиболее сильно влияющего к менее влияющему): 26-15-17-48-14-16-25-27-12-13-18-19-20.

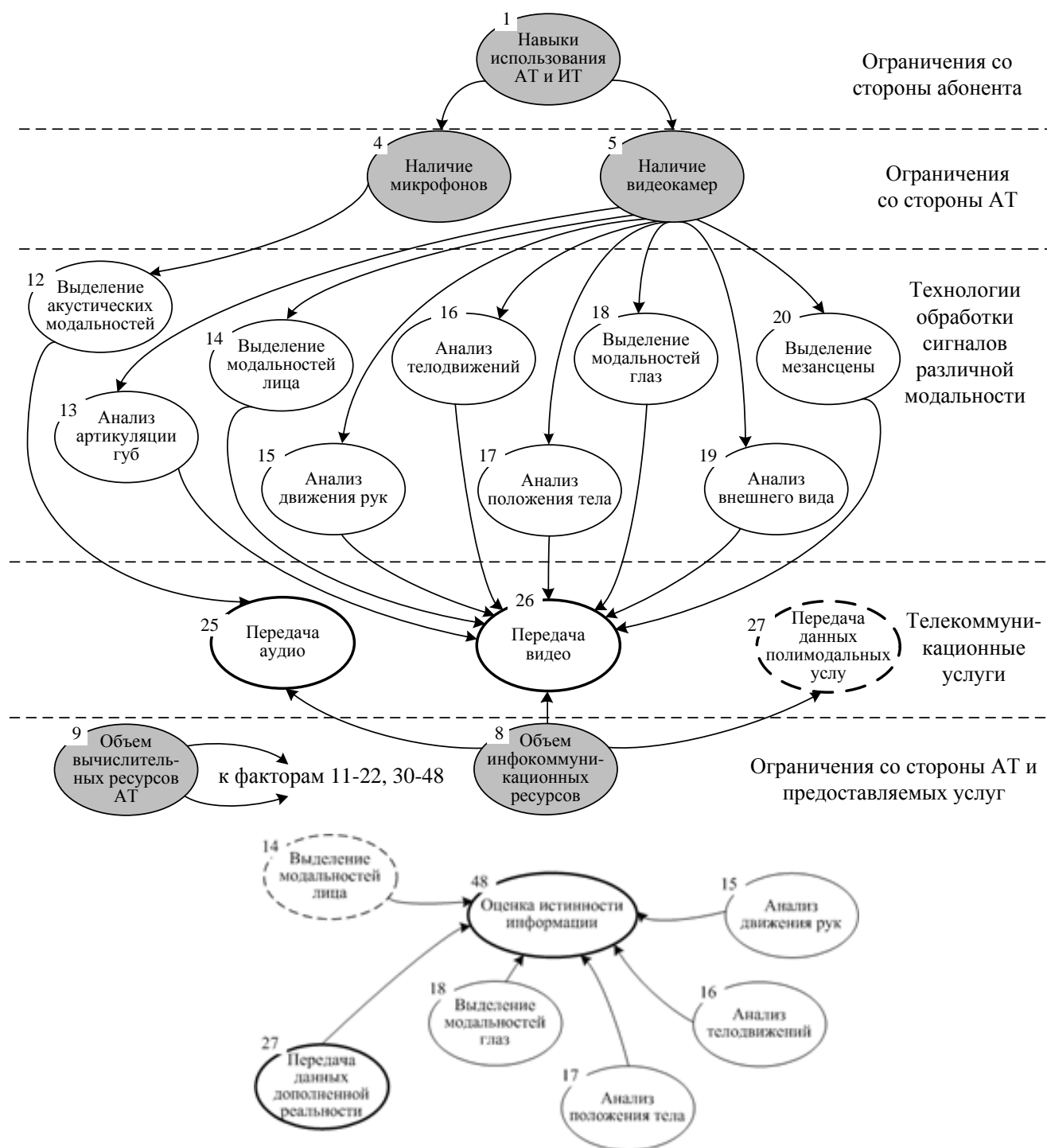


Рисунок 4.20 – Структура когнитивной модели реализации услуги «честная видеотелефония» (цветом выделены управляющие факторы)

На основе указанных факторов определены основные задачи, реализуемые синтезируемой ПИКС, сформированы множества соответствующих алгоритмов их реализации, реализована общая методика синтеза структур ПМИО (рис. 4.22) и управления АТ.

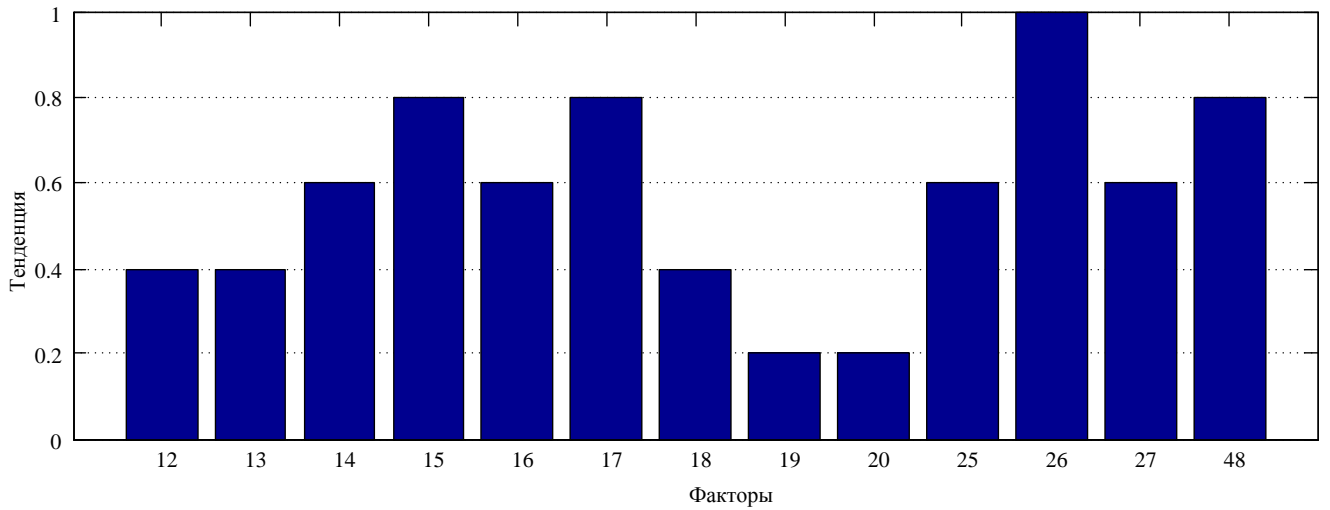


Рисунок 4.21 – Результаты анализа эффективности интегрального воздействия управляющих факторов на целевые при синтезе ПИКС, реализующей услугу «честная видеотелефония»

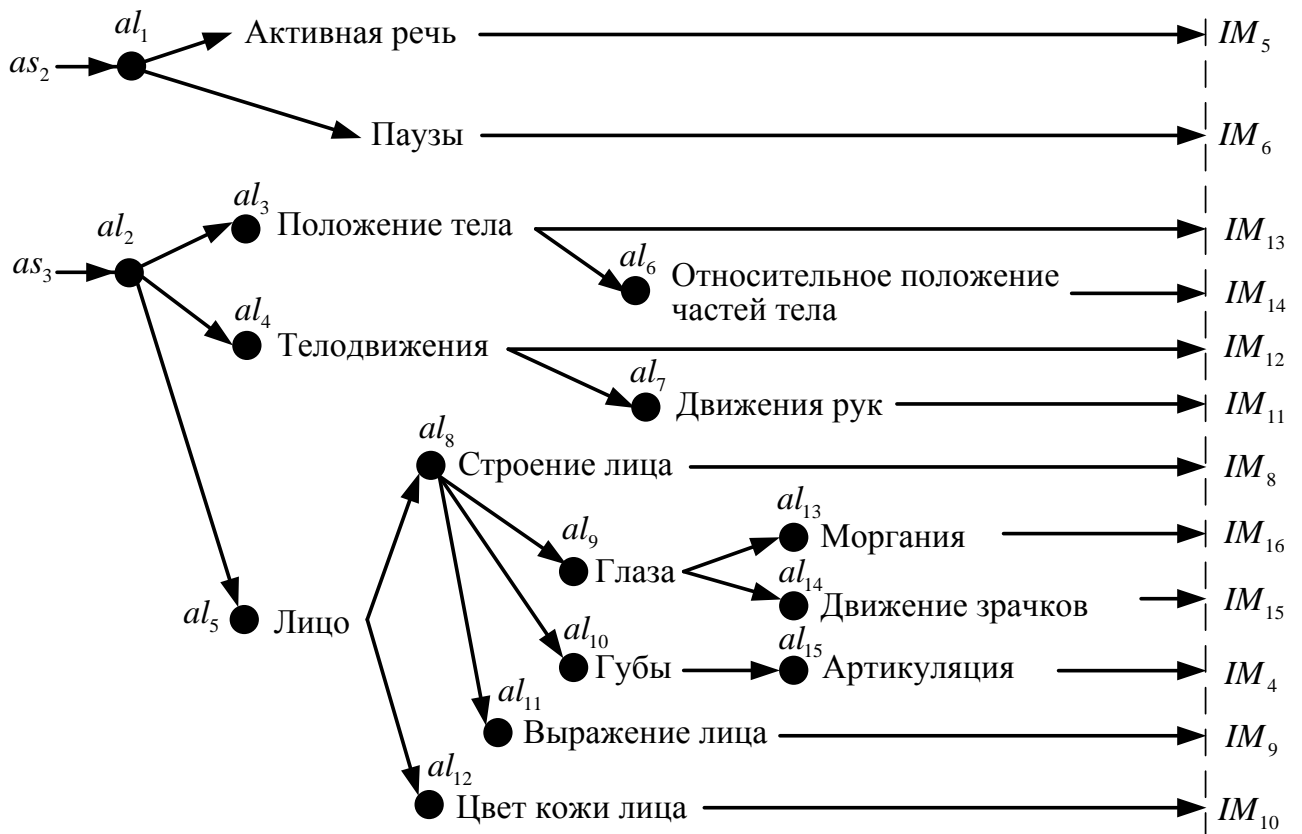


Рисунок 4.22 – Граф структуры ПМИО абонентского терминала ПИКС, реализующей услугу «честная видеотелефония»

При оптимизации вычислительной сложности реализуемой услуги и, как следствие быстрейшего соответствующего АТ выбраны следующие алгоритмы выделения модальностей:

- отслеживание изменений положения тела, движений головой, плечами, туловища, рук на основе базового алгоритма Lukas-Kanade [239];
- поиск лица абонента каскадным классификатором, основанном на алгоритме Виола-Джонса [242], и областей интереса, содержащих цвет кожи, регионы глаз, губ, носа, мимических мышц в области скул, лба и бровей.

Указанные алгоритмы были реализованы в библиотеке OpenCV [240] и предварительно обучены на изображениях различных людей.

В качестве оптимальной структуры системы управления АТ обоснована веерная иерархия (рис. 3.4).

После оценивания параметров r_i невербального поведения делается вывод о ложности (истинности) передаваемой в процессе указанного акта информации путем сравнения полученной реакции (\bar{r}_i) с реакцией (тенденцией изменений по каждому параметру и/или группе параметров невербального поведения), зарегистрированной в процессе структурированного интервью.

Для перехода от множества исходных переменных r_i к существенно меньшему числу переменных (факторов F_m) применен факторный анализ [252], отражающий оценку общности для каждой переменной по квадрату коэффициента множественной корреляции данной переменной с остальными переменными.

Факторный анализ применялся для данных, полученных при проведении эксперимента на группе испытуемых, в которую были включены лица обоего пола в возрасте от 18 до 32 лет общей численностью 32 человека. Экспериментальная проверка осуществлялась на основе моделирования ситуации, связанной с фактом нарушения трудовой дисциплины. Все испытуемые были поделены на две равные группы. Члены одной группы обладали информацией об данном факте, а второй – не располагали таковой. Принадлежность испытуемых к одной из указанных групп определялась случайным образом. При этом

нейтральные вопросы касались библиографических данных испытуемого, а контрольные заключались в установлении лица, располагающего значимой информацией в отношении скрываемого факта.

В результате эксперимента была выявлена статистически достоверная разница при сравнении показателей контрольного и нейтрального блока вопросов структурированного интервью по всем трем группам параметров (вегетативные, мимические и пантомимические реакции) для обеих групп испытуемых, однако характер их реагирования принципиально отличался. Так при исследовании лиц, располагающих значимой информацией и отрицающих факт информированности, показатели $\overline{r_i^{(n)}}$ нейтрального блока вопросов доминировали над показателями $\overline{r_i^{(c)}}$ контрольного блока вопросов. Применительно к анализу результатов эксперимента во второй группе, члены которой, отрицая владение значимой информацией, говорили правду, было выявлено отчетливое доминирование параметров невербального поведения в контрольном блоке вопросов.

Полученные данные показали статистически достоверную разницу по всем параметрам. На основе иерархического метода объединения данных были выделены три фактора $F_m, m=1...3$, определяющие матрице факторной структуры используемых параметров невербального поведения абонента (табл. 4.3).

Распределения показателей внутри выделенных факторов (параметры, которыми определяется каждый из факторов, выделены в таблице 4.3 жирным шрифтом) характеризуются устойчивостью и сохраняются на всех этапах структурированного интервью. Перечисленные факторы отражают исключительно невербальное поведение и рассматриваются как основные, что не исключает включения в метод ряда дополнительных параметров с выделением на их основе дополнительных факторов.

Значения a_{im} в ячейках таблицы 4.3 – факторная нагрузка переменной i по фактору m . Коэффициент корреляции между любыми двумя параметрами может быть восстановлен как сумма произведений факторных нагрузок по соответствующим строкам:

$$c_{ij} = \sum_{k=1}^3 a_{ik} a_{jk},$$

где i, j – номера параметров в корреляционной матрице $C = \{c_{ij}\}$.

Таблица 4.3 – Матрица факторной структуры

Параметры невербального поведения (i)	Факторные нагрузки		
	F_1	F_2	F_3
Движение туловищем (6)	0,99	0,1	0,04
Жесты-манипуляции (8)	0,99	0,09	0,02
Смена позы (1)	0,98	0,13	0,08
Глубокий вздох (2)	0,97	0,2	0,05
Движение головой (4)	0,93	0,2	0,2
Жесты-иллюстрации (7)	0,9	0,3	0,2
Сглатывание (3)	0,88	0,24	0,12
Движение плечами (5)	0,82	0,26	0,28
Гиперемия (16)	0,35	0,79	0,2
Улыбка (13)	0,43	0,75	0,15
Движение носом (15)	0,4	0,74	0,23
Движение языком (12)	0,5	0,62	0,34
Моргание (10)	0,44	0,58	0,42
Движение в области лоб/брови (14)	0,1	0,38	0,83
Движение кистями/пальцами (9)	0,2	0,24	0,79
Движение губами (11)	0,1	0,3	0,63

Оценки значений факторов $F_m, m=1...3$ используются для компактного представления различий между тремя объектами: показателями $r_i^{(1)} = \overline{r_i^{(n)}}$ нейтрального блока, показателями $r_i^{(2)} = \overline{r_i^{(c)}}$ контрольного блока и показателями $r_i^{(3)} = \overline{r_i^{(a)}}$, зарегистрированными в процессе коммуникативного акта. При известных корреляциях c_{ij} и факторных нагрузках a_{im} (табл. 4.3) в качестве оценок F_m для k -го объекта предложено использовать линейные комбинации значений исходных переменных:

$$F_1^{(k)} = \beta_6^{(k)} r_6^{(k)} + \beta_8^{(k)} r_8^{(k)} + \beta_1^{(k)} r_1^{(k)} + \beta_2^{(k)} r_2^{(k)} + \beta_4^{(k)} r_4^{(k)} + \beta_7^{(k)} r_7^{(k)} + \beta_3^{(k)} r_3^{(k)} + \beta_5^{(k)} r_5^{(k)}; \quad (4.10)$$

$$F_2^{(k)} = \beta_{16}^{(k)} r_{16}^{(k)} + \beta_{13}^{(k)} r_{13}^{(k)} + \beta_{15}^{(k)} r_{15}^{(k)} + \beta_{12}^{(k)} r_{12}^{(k)} + \beta_{10}^{(k)} r_{10}^{(k)}; \quad (4.11)$$

$$F_3^{(k)} = \beta_{14}^{(k)} r_{14}^{(k)} + \beta_9^{(k)} r_9^{(k)} + \beta_{11}^{(k)} r_{11}^{(k)}, \quad (4.12)$$

где в качестве факторного коэффициента $\beta_i^{(k)}$ выступают коэффициенты множественной регрессии.

При представлении (4.10)–(4.12) вывод о ложности (истинности) передаваемой в процессе коммуникативного акта информации делается на основе сравнения реакций $F_m^{(3)} - F_m^{(2)}$ с реакциями $F_m^{(2)} - F_m^{(1)}$ для выявленных факторов (табл. 4.3). При заданной физической структуре СПД на основе модели кодирования полимодальной информации (2.25) произведено оценивание минимального объема канального ресурса, необходимого для реализации предложенной услуги «честная видеотелефония» (табл. 4.4).

Таблица 4.4 – Характеристики визуальных модальностей

№ п/п	Модальность	Параметры модальности		В, бит/с
		Наименование группы параметров	Число параметров в группе	
1	Артикуляция губ	Виземы	1	300-2000
		Челюсть, подбородок, губы	16	
		Язык	5	
2	Строение лица	Положение губ	10	
		Брови	8	
		Щеки	4	
		Нос	4	
		Уши	4	
3	Выражение лица	Выражения лица	1	
4	Глаза	Глазное яблоко, зрачки, веки	12	
5	Относительное положение частей тела	Положение головы	3	

О состоятельности предложенного подхода (полимодальной услуги) позволяют судить результаты исследования, в ходе которого устанавливалась ложность сведений, сообщенных абонентом.

Предварительно была исследована аудиовидеозапись структурированного интервью, полученная в процессе проведения скрининговой проверки указанного абонента при его трудоустройстве. Исследование базировалось на основе реализаций нейтрального фрагмента беседы, за которым следовали контрольные

вопросы. Темы данной беседы были подобраны с учетом индивидуальных особенностей личности абонента и не были связаны с его последующей деятельностью. В результате такого исследования были выявлены характерные для исследуемого абонента тенденции изменений по группам параметров невербального поведения, объединенных на основе выявленных факторов (табл. 4.5).

Таблица 4.5 – Усредненные показатели оценки невербального поведения абонента

i	$\overline{r_i^{(n)}}$	$\beta_i^{(1)}$	$F_m^{(1)}$	$\overline{r_i^{(c)}}$	$\beta_i^{(2)}$	$F_m^{(2)}$	$\overline{r_i^{(a)}}$	$\beta_i^{(3)}$	$F_m^{(3)}$
6	0	0,125	0,501	1,2	0,322	0,794	1,6	0,322	0,647
8	1,21	0,524		0,9	0,313		0	0,313	
1	0,1	-0,1		0,3	-0,0001		0,42	-0,0001	
2	0,43	-0,237		0,12	0,714		0,3	0,714	
4	10,8	0,009		7,72	0,011		10,4	0,011	
7	7,43	-0,017		9,18	-0,023		4,5	-0,023	
3	2,41	0,011		2,84	0,067		2,1	0,067	
5	6,32	-0,003		6,89	-0,0001		7,2	-0,0001	
16	0	0,307	0,409	0,1	0,122	0,608	0,4	0,122	0,858
13	0	0,413		0	0,213		0	0,213	
15	1,73	0,094		0,93	0,134		1,5	0,134	
12	0	0,098		1,2	0,312		1,7	0,312	
10	5,61	0,044		4,62	0,021		3,7	0,021	
14	4,23	0,022	0,579	2,23	0,063	0,605	1,8	0,063	0,630
9	11,3	0,001		8,4	0,001		5,1	0,001	
11	1,56	0,304		2,14	0,213		2,4	0,213	

После этого было проведено исследование записи сеанса видеоконференцсвязи, в ходе которого в течение 3 мин 25 с интересующий абонентом сообщал некоторые сведения. Выводы о ложности сообщенной информации производились на основе сопоставления параметров $\overline{r_i}, i=1...16$ невербального поведения и оценок значений факторов $F_m, m=1...3$.

Из анализа результатов исследования (табл. 4.5) видно, что при произнесении ложной информации для интересующего абонента характерна следующая динамика параметров невербального поведения фактора F_1 :

- увеличение количества движений туловищем;
- сокращение количества жестов-манипуляций;
- учащение смены позы;
- увеличение количества глубоких вдохов;
- увеличение количества движений плечами.

По второму фактору F_2 при произнесении ложной информации для абонента характерна следующая динамика параметров невербального поведения:

- увеличение количества покраснений;
- увеличение количества облизывания губ;
- сокращение количества морганий;

По третьему фактору F_3 отмечаются следующие изменения параметров невербального поведения абонента:

- сокращение количества движений мимических мышц в области лба и бровей;
- сокращение количества движений кистями и пальцами;
- увеличение количества движений губами.

Указанные изменения параметров привели к соответствующему изменению значений факторов:

$$F_1^{(2)} - F_1^{(1)} = 0,294, \quad F_1^{(3)} - F_1^{(2)} = 0,143, \quad (4.13)$$

$$F_2^{(2)} - F_2^{(1)} = 0,199, \quad F_2^{(3)} - F_2^{(2)} = 0,250, \quad (4.14)$$

$$F_3^{(2)} - F_3^{(1)} = 0,199, \quad F_3^{(3)} - F_3^{(2)} = 0,025. \quad (4.15)$$

Устойчивое направление изменений анализируемых параметров (факторов) в процессе коммуникативного взаимодействия по сравнению с реакцией на вопросы нейтрального и контрольного блоков в ходе структурированного интервью указывает на неискренность абонента.

На основе реакций (4.13)(4.15) вывод о ложности передаваемых сообщений может быть принят, если для всех $m, (m = 1...3)$:

$$\left((F_m^{(3)} - F_m^{(2)}) > 0 \text{ and } (F_m^{(2)} - F_m^{(1)}) > 0 \right) \text{ or } \left((F_m^{(3)} - F_m^{(2)}) < 0 \text{ and } (F_m^{(2)} - F_m^{(1)}) < 0 \right). \quad (4.16)$$

При полной автоматизации процесса определения ложности передаваемой многомодальной информации может быть осуществлена свертка решений (4.16) с учетом значимости соответствующих факторов $F_m, m = 1...3$.

Точность оценки параметров невербального поведения определяет достоверность определения истинности D_2 , при этом удельная себестоимость соответствующей ПИКС

$$\zeta_3^{\text{ИНФ}} \Big|_{\zeta^{\text{СПД}}=\text{const}} = \frac{\text{Пр}^{\text{ИНФ}} \cdot D_2}{2 \cdot t_{\text{ОБР}} \cdot C_{\text{пр}}^{\text{ИНФ}}}$$

будет выше обобщенного показателя эффективности (4.7).

Полученный результат свидетельствует о повышении удельной себестоимости ПИКС минимум в D_2 раз по отношению к инфокоммуникационным системам с аддитивным наращиванием модальностей и позволяет реализовывать предлагаемую услугу «честная видеотелефония» в режиме реального времени, т. е. в процессе межличностной коммуникации абонентов.

Выводы по четвертому разделу

1. Инструментом актуализации элементов теории построения полимодальных ИКС к потребностям практики построения систем инфокоммуникаций для должностных лиц системы государственного управления является разработанная в разделе концепция. 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 за-

крытого информационного пространства в интересах системы государственного управления с высокой эффективностью коммуникативного взаимодействия ее должностных лиц.

2. 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 должностных лиц СГУ. На 27 устройств получены патенты на изобретения.

3. Разработанные в ходе исследований физические модули свидетельствуют о конструктивизме избранного подхода к решению проблем практики и теории, практической ценности предлагаемых в работе моделей, алгоритмов, методик оптимизации и метода синтеза.

4. Состоятельность разработанных полимодальных услуг подтверждена результатами экспериментов, которые свидетельствуют о повышении удельной себестоимости полимодальной инфокоммуникационной системы по отношению к «традиционным» инфокоммуникационным системам и позволяют реализовывать данные услуги в режиме реального времени – в процессе межличностной коммуникации субъектов информационного пространства.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертационная работа связана с решением крупной научно-технической проблемы 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 ког-

нитивных 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 обеспечения 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 простран-

ства 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.

7. 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 стра-

тегической 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.

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ

АСК	– адаптивная система кодирования;
АТ	– абонентский терминал;
АПСС	– аппаратно-программные средства связи;
АРМ	– автоматизированное рабочее место;
БД	– блок данных;
ВОЛС	– волоконно-оптическая линия связи;
ВОЛТ	– волоконно-оптический линейный тракт;
ДАМГ	– динамический альтернативный мультиграф;
ДЛ	– должностное лицо;
ЕКР	– единица канального ресурса;
ИКС	– инфокоммуникационная система;
ИнфП	– информационное пространство;
КК	– коммутация каналов;
КП	– коммутация пакетов;
КС	– канал связи;
ЛПР	– лицо, принимающее решение;
НСЭС	– направляющие системы электросвязи;
ОВ	– оптическое волокно;
ОГВ	– органы государственной власти;
ОДФ	– оценка динамики фактора;
ОУч	– объект учета;
ПИКС	– полимодальная инфокоммуникационная система;
ПМИО	– программно-математическое и информационное обеспечение;
ПФС	– психофизиологическое состояние;
ПЦП	– программно-целевой подход;
РД	– руководящий документ;
САПР	– система автоматизированного проектирования;

СГУ	– система государственного управления;
СД	– сеть доступа;
СМТО	– система материально-технического обеспечения;
СПД	– сеть передачи данных;
СУС	– система управления связью;
СФ	– среда функционирования;
УК	– узел коммутации;
ФХ	– функциональная характеристика;
ЭМВОС	– эталонная модель взаимодействия открытых систем;
E2E	– End-to-End (из конца в конец);
QoE	– Quality of Experience (клиентское восприятие качества услуги связи);
QoS	– Quality of Service (качество услуги связи);
SDH	– Synchronous Digital Hierarchy (синхронная цифровая иерархия);
SyTDM	– Synchronous Time Division Multiplexing (синхронное временное мультиплексирование);
StTDM	– Statistical Time Division Multiplexing (статистическое временное мультиплексирование);
NP	– Network Performance (качество сети);

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Азаров, И.С. Изменение частоты основного тона речевого сигнала на основе гармонической модели с нестационарными параметрами / И.С. Азаров, М.И. Вашкевич, Д.С. Лихачев, А.А. Петровский // Труды СПИИРАН. 2014. Вып. 32. – С. 5–26.
2. Акофф, Р. О целеустремленных системах: пер. с англ. / Р. Акофф, Ф. Эмери. – М.: Сов. радио, 1974. – 272 с.
3. Александров, В.В. Цифровая технология инфокоммуникации. Передача, хранение и семантический анализ текста, звука и видео / В.В. Александров, С.В. Кулешов, О.В. Цветков. – СПб.: Наука, 2008. – 244 с.
4. Алексеев, Е.Б. Проектирование и техническая эксплуатация цифровых телекоммуникационных систем и сетей: учеб. пособие для вузов / Е.Б. Алексеев, В.Н. Гордиенко, М.С. Тверецкий и др.; под ред. В.Н. Гордиенко, М.С. Тверецкого. – М.: Горячая линия – Телеком, 2008. – 392 с.
5. Баевский, Р.М. Прогнозирование состояний на грани нормы и патологии / Р.М. Баевский. – М.: «Медицина», 1979. – 298 с.
6. Баканов, Г.Ф. Основы конструирования и технологии радиоэлектронных средств / Г.Ф. Баканов, С.С. Соколов, В.Ю. Суходольский; под ред. И.Г. Мироненко. – М.: Издательский центр «Академия», 2007. – 368 с.
7. Бакланов, И.Г. SDH-NGSDH: практический взгляд на новую революцию в системах передачи / И.Г. Бакланов. – М.: PR-GROUP, 2006. – 678 с.
8. Бакланов, И.Г. Многопараметричность и ренессанс аналогового мышления / И.Г. Бакланов. – М.: Метротек, 2004. – 136 с.
9. Балашов, Е.П. Проектирование информационно-управляющих систем / Е.П. Балашов, Д.В. Пузанков. – М.: Радио и связь, 1987. – 256 с.
10. Балашов, Е.П. Эволюционный синтез систем / Е.П. Балашов. – М., Радио и связь, 1985. – 328 с.
11. Барри, Д.Д. T-MPLS и PBT/PBB-TE – транспорт пакетов на основе соединений / Д.Д. Барри // Lightwave Russian Edition. – 2008. – № 1. – С. 12–14.

12. Басакер, Р. Конечные графы и сети / Р. Басакер, Т. Саати. – М.: Наука, 1974. – 368 с.

13. Басов, О.О. Адаптация и адаптивные системы кодирования речевого сигнала: основные понятия, принципы, свойства и классификация / О.О. Басов, А.А. Рыболовлев, М.В. Илюшин // Телекоммуникации. – 2007. – № 11. – С. 11–15 (начало); № 12. – С. 5–9 (окончание).

14. 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.

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

16. Басов, О.О. Алгоритм идентификации канала связи, описываемого моделью Гилберта, в паузах речевого сигнала / О.О. Басов, А.А. Рыболовлев, В.В. Никитин // Сети, системы связи и телекоммуникации. Деятельность вуза при переходе на Федеральный государственный образовательный стандарт 3-го поколения: материалы 33-й Всероссийской науч.-техн. конф. (Рязань, 29 апреля 2008 г.). – Рязань: РВВКУС, 2008. – С. 93–95.

17. Басов, О.О. Алгоритм идентификации канала связи, описываемого моделью Гилберта / О.О. Басов, А.А. Рыболовлев // ВЕСТНИК РГРТУ. – Рязань: РГРТУ, 2008. – № 3 (вып. 25).– С. 18–22.

18. Басов, О.О. Анализ степени адаптации современного парка кодеков речи / О.О. Басов, А.А. Рыболовлев // Цифровая обработка сигналов и ее применение: материалы 9-й международной конф. – Москва: ИПУ РАН, 2007. – Доклады – IX-1. – С. 157–160.

19. 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.

20. 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.

21. Басов, О.О. Качество функционирования и эффективность полимодальных инфокоммуникационных систем / О.О. Басов, И.А. Саитов // Труды СПИИРАН. 2014. №1 (32). – С. 152–170.

22. Басов, О. О. К вопросу повышения эффективности человеко-машинного взаимодействия в условиях акустических шумов / О. О. Басов, М. В. Илюшин, В. С. Гранкин // Новые информационные технологии в научных исследованиях: материалы XVII Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов. Рязанский государственный технический университет, 2012. – 276 с. – С. 15.

23. Басов, О.О. Концептуальная модель многокритериальной адаптации процедуры липредерного кодирования речи / О.О. Басов, А.А. Рыболовлев // Телекоммуникации. – 2007. – № 4. – С. 14–18.

24. Басов, О. О. Концептуальная модель процесса восстановления семантических образов речевых сообщений / О. О. Басов, И. А. Саитов, В. О. Басов // Материалы научно-технической конференции «Информационные и телекоммуникационные технологии. Подготовка специалистов для инфокоммуникационной среды». – Материалы 33-й Всероссийской научно-техн. конф. в 2 ч. Ч.1. / РВВКУС, Рязань, 2009. – С. 86-89.

25. Басов, О.О. Математическая модель системы кодирования речевого сигнала с многопараметрической адаптацией / О.О. Басов // Телекоммуникации. – 2008. – № 7. – С. 7–13.

26. 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.

27. 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. – 272 с.

28. 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.

29. 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.

30. 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 молодежной научно-практической конференции СКФ МТУСИ "ИНФОКОМ-2015". С. 46-50.

31. 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.

32. Басов, О.О. Микропроцессоры цифровой обработки сигналов: пособие / О.О. Басов, А.А. Рыболовлев, А.А. Двилянский. – Орел: Академия ФСО России, 2010. – 130 с.

33. Басов, О.О. Модели коммуникативного взаимодействия и их применение в инфокоммуникациях / О.О. Басов, М.В. Илюшин, А.В. Зацепин // ВЕСТНИК РГРТУ.– Рязань, 2011. № 3 (вып.). – С.106–108.

34. Басов, О.О. О возможности реализации кодеков речевого сигнала с многопараметрической адаптацией / О.О. Басов // Материалы XIII Всерос-

сийской научно-технической конференции студентов «Новые информационные технологии в научных исследованиях и образовании». – Рязанский государственный радиотехнический университет, 2008. – С. 123–125.

35. Басов, О.О. Обобщенная постановка задачи синтеза адаптивного кодирования речевых сигналов с многопараметрической адаптацией / О.О. Басов, А.А. Рыболовлев // Сети, системы связи и телекоммуникации: материалы 32-й Всероссийской науч.-практ. конф. – Рязань: РВВКУС, 2007. – С. 123–125.

36. Басов, О.О. Определение истинности передаваемой информации в полимодальных инфокоммуникационных системах / О.О. Басов, В.А. Ягупов // Сборник материалов 5-й Межвузовской научно-практической конференции курсантов и студентов «Проблемы и перспективы совершенствования охраны Государственной границы». – Калининградский пограничный институт ФСБ России, 12 декабря 2012 г.

37. 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.

38. Басов, О.О. Основные каналы межличностной коммуникации и их проекция на инфокоммуникационные системы / О.О. Басов, И.А. Сайтов // Труды СПИИРАН, 2013. Вып. 7(30). – С.122–140.

39. Басов, О.О. Особенности межличностной коммуникации в системе государственного управления / О.О. Басов, Е.А. Васечкин // Международный научный институт «Educatio». – 2014. – № 3. Ч. 4. – С. 86–87.

40. 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.

41. Басов, О.О. Предпосылки создания полимодальных инфокоммуникационных систем / О.О. Басов // Сборник материалов Международной научно-практической конференции «Неделя науки СПбГПУ» / Секция «Решение сложных задач в области современных информационных и компьютерных

технологий». Санкт-Петербургский государственный политехнический университет (РФ, Санкт-Петербург, 3–8 декабря 2012 г.). – 2012. – С. 5–6.

42. 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.

43. Басов, О.О. Применение пространственной фильтрации в задачах кодирования подвижных изображений / О.О. Басов, В.А. Ягупов, М.В. Стремоухов // ИЗВЕСТИЯ ЮФУ. Технические науки. Тематический выпуск. Проблемы математического моделирования, супервычислений и информационных технологий. – 2012. – № 6 (131). – С. 123–125.

44. 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.

45. 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.

46. 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.

47. Басов, О. О. Программа оценки психоэмоционального состояния на основе теста Люшера / О. О. Басов, П. Ю. Хахамов, М. М. Давыдов, П. А. Сысоев, Д. А. Гуляйкин // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014662552 от 03.12.2014.

48. 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.

49. Басов, О.О. Разработка цифровых устройств на основе систем на кристалле NVCom-01 платформы «Мультикор» : пособие / О.О. Басов, К.А. Батенков, М.В. Илюшин, Д.А. Рыболовлев ; под. общ. ред. О.О. Басова – Орел: Академия ФСО России, 2013. – 65 с.

50. Басов, О.О. Способ кодирования и передачи подвижных изображений на основе их контурного представления [Электронный ресурс] / О.О. Басов, В.А. Ягупов, И.А. Саитов // Материалы V Международной научно-технической конференции «Информационные технологии в науке, образовании и производстве», ИТНОП-2012. – Режим доступа: <http://irsit.ru/article221/>

51. 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. – С. 60–62.

52. 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.

53. Богданов, С. П. К вопросу уменьшения энергопотребления беспроводных датчиков с автономным питанием / С. П. Богданов, О. О. Басов // Сборник тезисов докладов 55-ой Всероссийской научной конференции «Современные проблемы фундаментальных и прикладных, естественных и технических наук в современном информационном обществе». – Московский физико-технический институт (государственный университет), 22-25 ноября 2012 г.

54. Богданов, С П. 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 (РФ, Курск, 27 декабря 2013 г.) / ответст. за вып. : А.А. Горохов. – Юго-Зап. гос. ун-т.: В 3-х т.– Курск, 2013. – Т. 2. – С.72–75.

55. Богданов, С.П. Оптимизация структур средств сбора и регистрации данных / С.П. Богданов, О.О. Басов // Сборник трудов Всероссийской научно-технической конференции «Теоретические и прикладные проблемы развития и совершенствования автоматизированных систем управления военного назначения» Ч. II / под общ. ред. В. В. Алейника, К.Е. Легкова, В.Д. Боева и др.; ответст. за вып.: С.В. Чернышев. – Спб.: ВКА имени А. Ф. Можайского, 2013. – С. 265–271.

56. Богданов, С. П. Перспективы и проблемы применения беспроводных датчиков с автономным питанием / С. П. Богданов, О. О. Басов // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники, 2012. – № 2(26), часть 1. – С. 20–23.

57. Богданов, С.П. 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.

58. Богданов, С.П. Снижение энергопотребления беспроводных электронных датчиков / С.П. Богданов, О.О. Басов // Современные инструментальные системы, информационные технологии и инновации: сборник научных трудов XI Международной научно-практической конференции (Курск, 19–21 марта 2014 г.) / ответст. за вып.: А.А. Горохов. – Юго-Зап. гос. ун-т.: в 4-х т.– Курск, 2014. – Т. 1. – С.186–189.

59. Бороздина, Г.В. Психология делового общения / Г.В. Бороздина. – М.: «Деловая книга», 1998. – 247 с.

60. Булгак, В.Б. Сертификация оборудования и услуг связи / В.Б. Булгак, А.Е. Крупнов, И.А. Мамзев и др. – М.: ЗАО «РИКЕЛ», 1999. – 248 с.

61. Бутовская, М.Л. Язык тела: природа и культура (эволюционные и кросс-культурные основы невербальной коммуникации человека) / М.Л. Бутовская. – М: Научный мир, 2004. – 440 с.

62. Бушуев, С.Н. Основы общей теории систем / С.Н. Бушуев, А.А. Попов, И.М. Телушкин. – СПб.: ВАС, 1992. – 248 с.
63. Быков, С.В. Цифровая телефония / С.В. Быков, В.И. Журавлев, И.А. Шалимов; учеб. пособие для вузов. – М.: Радио и связь, 2003. – 144 с.
64. Величковский, Б.М. Когнитивная наука: основы психологии познания: в 2 т. / Б.М. Величковский. – М.: Смысл. Издательский центр «Академия», 2006. – 432 с.
65. Вербовецкий, А.А. Основы проектирования цифровых оптоэлектронных систем связи / А.А. Вербовецкий. – М.: Радио и связь, 2000. – 160 с.
66. Верёвкина, Е.В. Тензорная методология в информационных сетях / Е.В. Верёвкина, М.О. Захарченко, М.Н. Петров; под ред. проф. М.Н. Петрова – Красноярск: НИИ СУВПТ, 2001. – 158 с.
67. Вишневский, В.М. Теоретические основы проектирования компьютерных сетей / В.М. Вишневский. – М.: Техносфера, 2003. – 512 с.
68. Волкова, В.Н. Теория систем : учеб. пособие / В.Н. Волкова, А.А. Денисов. – М.: Высшая школа, 2006. – 511 с.
69. Воронин, А.А. Оптимальные иерархические структуры / А.А. Воронин, С.П. Мишин. – М.: ИПУ РАН, 2003. – 214 с.
70. Гальярди, Р.М. Оптическая связь / Р.М. Гальярди, Ш. Карп. – М.: Связь, 1978. – 424 с.
71. Геминтерн, В.И. Методы оптимального проектирования / В.И. Геминтерн, Б.М. Каган. – М.: Энергия, 1980. – 159 с.
72. Гонсалес, Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс. – М.: Техносфера, 2006. – 1072 с.
73. Горелик, А.Л. Методы распознавания / А.Л. Горелик, В.А. Скрипкин. – 2-е изд. – М.: Высшая школа, 1989. – 232 с.
74. ГОСТ РВ 51987–2002. Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы типовые требования и показатели качества функционирования информационных систем. Общие положения. – М.: Госстандарт России, 2001.

75. Григоров, М.С. Анализатор выделения границ объектов на изображениях ("Focus border") / М.С. Григоров, О.О. Басов, А.А. Бречко. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015612645 от 24.02.2015

76. Девкин, В.И. Методы выбора наиболее предпочтительного варианта различных систем / В.И. Девкин // Вестник ВГУ. Серия: Системный анализ и информационные технологии, 2013. – № 2. – С. 20–22.

77. Докучаев, В.Л. Совершенствование транспортных сетей SDN / В.Л. Докучаев, В.К. Серебренников // Электросвязь, 2003. – № 9. – С. 5–9.

78. Ершов, В.А. Мультисервисные телекоммуникационные сети / В.А. Ершов, Н.А. Кузнецов. – М.: МГТУ им. Баумана, 2003. – 427 с.

79. Ефремов, А. Д. Основы схемотехники: учебное пособие / А.Д. Ефремов, М.А. Волков, О.О. Басов / под. общ. ред. Иванова Б.Р. – Орел: Академия ФСО России, 2012. – 212 с.

80. Засецкий, А.В. Контроль качества в телекоммуникациях и связи. Обслуживание, качество услуг, бизнес-управление / А.В. Засецкий, А.Б. Иванов, С.Д. Постников и др.; под ред. А.Б. Иванова. – М.: Компания Сайрус Системс, 2001. – 335 с.

81. Захаров, Г.П. Методы исследования сетей передачи данных / Г.П. Захаров. – М.: Радио и связь, 1982. – 208 с.

82. Зацаринный, А.А. Методика выбора технических средств для построения телекоммуникационных сетей / А.А. Зацаринный, Ю.С. Ионенков // Системы и средства информатики. Доп. вып. – М.: Наука, 2009. – С. 4–14.

83. Зацаринный, А.А. Методический подход к обоснованию требований к надежности информационно-телекоммуникационных сетей / А.А. Зацаринный, А.И. Гаранин, Ю.С. Ионенков // Системы и средства информатики. – М.: Наука, 2010. – Вып. 20. № 3 – С. 157–173.

84. Зацаринный, А.А. Некоторые аспекты выбора технологии построения информационно-телекоммуникационных сетей / А.А. Зацаринный, Ю.С. Ионенков // Системы и средства информатики. – М.: Наука, 2007. – Вып. 17. – С. 5–16.

85. Зацаринный, А.А. Об одном подходе к выбору системотехнических решений построения информационно-телекоммуникационных систем / А.А. Зацаринный, Ю.С. Ионенков, В.А. Кондрашев // Системы и средства информатики. – М.: Наука, 2006. – Вып. 16. – С. 65–71.

86. Зацаринный, А.А. Организационные принципы системного подхода к разработке, проектированию и внедрению современных информационно-телекоммуникационных сетей / А.А. Зацаринный // ВКСС CONNECT! (Ведомственные корпоративные сети системы), 2007. – № 1(40). – С.60–67.

87. Иванов, А.Б. Волоконная оптика: компоненты, системы передачи, измерения / А.Б. Иванов. – М.: Компания Сайрус Системс, 1999. – 671 с.

88. Илюшин, М. В. 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. – Орел: Академия ФСО России, 2015. – 103 с.

89. Илюшин, М. В. 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.

90. Илюшин, М. В. Обоснование объективного критерия качества звучания синтезированного широкополосного речевого сигнала / М.В. Илюшин, О.О. Басов, А. В. Радаев, А. В. Степанов // ВЕСТНИК РГРТУ. № 4 (выпуск 34). Рязань, 2010. – С. 25-31.

91. Илюшин, М.В. Объективное оценивание качества звучания синтезированной речи / М.В. Илюшин, О.О. Басов, А.В. Зацепин // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2011612781 от 21.05.2011.

92. Ильин, Е.П. Психофизиология состояний человека / Е.П. Ильин. – СПб.: Питер, 2005. – 412 с.

93. Карпов, А.А. ICanDo: Интеллектуальный помощник для пользователей с ограниченными физическими возможностями // Вестник компьютерных и информационных технологий, 2007. – №7. – С. 32–41.

94. Карпов, А.А. SIRIUS – система дикторо-независимого распознавания слитной русской речи / А.А. Карпов, А.Л. Ронжин, И.В. Ли // Известия ТРТУ. – 2005. – № 10. – С. 44–53.

95. Карпов, А.А. Автоматическое распознавание аудиовизуальной русской речи с применением асинхронной модели // Информационно-измерительные и управляющие системы. – М.: Радиотехника, 2010. – № 7. Т. 8, – С. 91–96.

96. Карпов, А.А. Ассистивные информационные технологии на основе аудиовизуальных речевых интерфейсов // Труды СПИИРАН. – 2013. – Вып. 27. – С 114–128.

97. Карпов, А.А. Аудиовизуальные речевые интерфейсы в ассистивных информационных технологиях: дис. ... д-ра техн. наук: 05.13.11 / Карпов Алексей Анатольевич. – СПб. – 2013. – 299 с.

98. Карпов, А.А. Аудиовизуальный речевой интерфейс для систем управления и оповещения / А.А. Карпов // Известия ЮФУ. Технические науки. – Таганрог: ТТИ ЮФУ, 2010. – № 3 (104). – С. 218–222.

99. Карпов, А.А. Когнитивные исследования ассистивного многомодального интерфейса для бесконтактного человекомашинного взаимодействия / А.А. Карпов // Информатика и ее применения. – М.: ИПИ РАН, 2012. – Т. 6, № 2. – С. 77–86.

100. Карпов, А.А. Компьютерная программа для синхронизации, захвата и объединения аудиовизуальных модальностей речи. – RusAVSpeechRecorder. Свидетельство о государственной регистрации ПрЭВМ №2011611037 от 28.01.2011 г.

101. Карпов, А.А. Многомодальные ассистивные системы для интеллектуального жилого пространства / А.А. Карпов, Л. Акарун, Ал.Л. Ронжин // Труды СПИИРАН. – 2011. – Вып. 19. – С. 48–64.

102. Карпов, А.А. Многомодальные интерфейсы в автоматизированных системах управления / А.А. Карпов, А.Л. Ронжин // Известия вузов. Приборостроение. – 2005. – Т. 48, № 7. – С. 9–14.

103. Карпов, А.А. Разработка компьютерной системы «говорящая голова» для аудиовизуального синтеза русской речи по тексту / А.А. Карпов, Л.И. Цирульник, М. Железны // Информационные технологии. – М.: Новые Технологии. – 2010. – № 8, Т. 9. – С. 13–18.

104. Карпов, А. Разработка бимодальной системы аудиовизуального распознавания русской речи / А. Карпов, А. Ронжин, Б. Лобанов, Л. Цирульник, М. Железны // Информационно-измерительные и управляющие системы. – Москва, 2008. – № 10, Т. 6. – С. 58–62.

105. Кащенко, А.Г. Методика решения нечетких многокритериальных задач выбора вариантов информационно-телекоммуникационных систем / А.Г. Кащенко, Р.В. Семенов // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: История. Политология. Экономика. Информатика. – 2012. – № 19 (138), Вып. 24/1. – С. 161–164.

106. Квятковский, К.И. Проектирование информационных систем для органов государственной власти / К.И. Квятковский, В.Ф. Шуршев // Вестник АГТУ. Сер.: Управление, вычислительная техника и информатика. – 2011. – № 1. – С. 172–176.

107. Кипяткова, И.С. Автоматическая обработка разговорной русской речи: монография / И.С. Кипяткова, А.Л. Ронжин, А.А. Карпов. – СПб. : ГУАП, 2013. – 314 с.

108. Кириллов, С.Н. Исследование влияния эмоционального состояния человека на параметры речевого сигнала / С.Н. Кириллов, Д.И. Лукьянов // Вестник РГРТУ. – Рязань, 2014. – № 48. – С. 45–51.

109. Клейнрок, Л. Вычислительные системы с очередями / Л. Клейнрок. – М.: Мир, 1979. – 600 с.

110. Коган, И.М. Прикладная теория информации / И.М. Коган. – М.: Радио и связь, 1981. – 216 с.

111. Концептуальные положения по построению мультисервисных сетей на ВСС РФ // Утв. Первым заместителем министра РФ по связи и информатизации 25.01.02. – М.: Минсвязи РФ, 2002.
112. Концепция управления качеством связи в Российской Федерации (проект). – М.: Министерство связи и массовых коммуникаций Российской Федерации, 2015.
113. Кузнецов, Б.Г. Принцип дополнительности / Б.Г. Кузнецов. – М.: Наука, 1968. – 178 с.
114. Кузькин, А. А. Модель обеспеченности стратегии развития информационных технологий в организации / А. А. Кузькин, С. В. Смирнов, О. О. Басов // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2015. Том 15. № 2. С. 305-312.
115. Кухарев, Г. . Системы распознавания человека по изображению лица / Г.А. Кухарев. – СПб. : Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2006. – 176 с.
116. Кучерявый, А.Е. Сети связи следующего поколения / А.Е. Кучерявый, А.Л. Цуприков. – М.: ФГУП ЦНИИС, 2006. – 278 с.
117. Лохмотко, В.В. Модели и методы оптимизации структуры телекоммуникационных сетей: дис. ... д-ра техн. наук: 05.12.14 / Лохмотко Владимир Васильевич. – СПб.: СПбГУТ, 1998. – 290 с.
118. Лукьяница, А.А. Цифровая обработка видеоизображений / А.А. Лукьяница, А.Г. Шишкин. – М.: «Ай-Эс-Эс Пресс», 2009. – 518 с.
119. Лунева, О.В. Общение / О.В. Лунева // Знание. Понимание. Умение. – 2005. – № 4. – С. 157–159.
120. Мардер, Н.С. Современные телекоммуникации / Н.С. Мардер. – М.: ИРИАС, 2006. – 384 с.
121. Меккель, А.М. Оптическая транспортная сеть и NGN / А.М. Меккель // Lightwave Russian Edition. – 2006. – № 2. – С. 18–22.
122. Месарович, М. Теория иерархических многоуровневых систем / М. Месарович, Д. Мако, Я. Такахара. – М.: Мир, 1973. – 344 с.

123. Михайлов, В.Г. Измерение параметров речи / В.Г. Михайлов, Л.В. Златоустова. – М.: Радио и связь, 1987. – 168 с.

124. Моисеев, Д.Л. Психологические особенности межличностных конфликтов во взаимоотношениях государственных служащих и условия их предупреждения: автореф. дис.... канд. психол. наук / Моисеев Дмитрий Леонидович. – М., 1997. – 24 с.

125. Муромцев, Д.Ю. Конструирование узлов и устройств электронных средств: Учебное пособие / Д.Ю. Муромцев, И.В. Тюрин, О.А. Белоусов. — Ростов-на-Дону: Феникс, 2013. — 540 с.

126. Назаров, А.Н. Модели и методы расчета структурно-сетевых параметров сетей АТМ / А.Н. Назаров. – М.: Горячая линия – Телеком. – 2002. – 256 с.

127. Нечаев, Ю.Б. Методика формирования и многокритериального выбора вариантов инфотелекоммуникационных систем в условиях неопределенности исходных данных / Ю.Б. Нечаев, Г.А. Кащенко // Вестник ВГУ. Серия: Системный анализ и информационные технологии. – 2012. – № 2. – С. 53–58.

128. Никитов, В.А. Информационное обеспечение государственного управления / В.А. Никитов, Е.И. Орлов, А.В. Старовойтов, Г.И. Савин; под ред. Ю.В. Гуляева. – М.: Славянский диалог, 2000. – 415 с.

129. Николаев, Ю.И. Проектирование защищенных информационных технологий / Ю.И. Николаев. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1997. – 312 с.

130. Нисневич, Ю.А. Открытость, прозрачность и подотчетность государственного управления [Электронный ресурс] / Ю.А. Нисневич // – Режим доступа: <http://www.hse.ru/data/2010/11/09/1223230150/Подотчетность%20государственного%20управления.pdf>.

131. Носов, М.В. Автоматизация распределения производственно-технологических функций между операторами автоматизированных рабочих мест с учетом их психофизиологического состояния : дис. ... канд. техн. наук : 05.13.06 / Носов Максим Васильевич. – 2014. – 119 с.

132. Носов, М.В. Критерий эффективности управления человеческими ресурсами / М. В. Носов, О. О. Басов // Сборник материалов VII Международной

молодежной научно-практической конференции СКФ МТУСИ «ИНФОКОМ-2014». – Ростов-на-Дону: СКФ МТУСИ, 2014. – С. 64–65.

133. Носов, М.В. 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» (РФ, Орёл, 22–23 мая 2014 г.). – Орёл: Госуниверситет -УНПК, 2014. – Режим доступа: http://youconf.ru/files/itnop2014/Носов_Васечкин_Басов.pdf.

134. Носов, М.В. 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» (Курск, 18 апреля 2014 года) / редкол.: А. А. Горохов (отв. ред); Юго-Зап. гос. ун-т. В 3-х т. – Курск, 2014. – Т. 2. – С.72–75.

135. 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.

136. Одоевский, С.М. Адаптивно-игровая оптимизация функциональных характеристик военных сетей многоканальной радиосвязи: монография / С.М. Одоевский. – СПб.: ВАС, 1998. – 300 с.

137. Островский, М.А. Физиология человека: учебник. В 2 т. / М.А. Островский, И.А. Шевелев; под ред. В.М. Покровского, Г.Ф. Коротько. – М., 2003. – Т. 2. – С. 201–259.

138. Офицеров, А. И. Синтез сетей передачи данных автоматизированных систем управления на основе критерия неблокируемой маршрутизации / А. И. Офицеров, О. О. Басов, С. И. Афонин // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия «История. Политология. Экономика. Информатика». – 2011. – № 7 (102). Выпуск 18/1. – С. 168–176.

139. Охтилев, М.Ю. Интеллектуальные технологии мониторинга состояния и управления структурной динамикой сложных технических объектов / М.Ю. Охтилев, Б.В. Соколов, Р.М. Юсупов. – М.: Наука, 2005. – 291 с.

140. Пасечников, И.И. Методология анализа и синтеза предельно нагруженных информационных сетей : монография / И.И. Пасечников – М.: «Машиностроение», 2004. – 216 с.

141. Патент № 2343564 РФ, МПК G10L 19/06. Способ адаптивного кодирования речевых сигналов на основе системы с переменной структурой / 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.

142. Патент № 2408088 РФ, МПК G10L 19/04. Способ векторного квантования линейных спектральных частот / 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.

143. Патент № 2419166 РФ, МПК G10L 11/00; G10R 13/00. Способ разделения джиттера периода основного тона речевого сигнала / 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.

144. Патент № 2419169 РФ, МПК G10L 19/00. Способ кодирования широкополосного речевого сигнала / М.В. Илюшин, О.О. Басов и др.; патентообладатель гос. казенное образовательное учреждение высш. проф. образования Академия ФСО России. – № 2009144612/09; заявл. 01.12.2009, опубл. 20.05.2011. Бюл. № 14. – 10 с.: ил.

145. Патент № 2421793 РФ, МПК G06F 13/38; H04B 10/17. Способ передачи мультипротокольных информационных потоков и устройство для его реализации / И.А. Сайтов, О.О. Басов и др.; патентообладатель гос. казенное

образовательное учреждение высш. проф. образования Академия ФСО России. – № 2009139425/08; заявл. 26.10.2009, опубл. 20.06.2011. Бюл. № 17. – 21 с.: ил.

146. Патент № 2427882 РФ, МПК G06F 5/16; H04J 14/00. Способ организации аварийного режима работы мультиплексора и устройство его реализующее / И.А. Сайтов, О.О. Басов и др.; патентообладатель гос. казенное образовательное учреждение высш. проф. образования Академия ФСО России. – № 2010111099/08; заявл. 23.03.2010, опубл. 23.03.2011. Бюл. № 24. – 15 с.: ил.

147. Патент № 2435310 РФ, МПК H04B 10/18. Способ передачи дополнительной информации и устройство для его осуществления / 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.

148. Патент № 2472293 Российской Федерации: МПК H04L 12/40; H04B 10/00. Способ неблокируемой маршрутизации для построения системы оптической связи / А.И. Офицеров, О.О. Басов; патентообладатель гос. казенное образовательное учреждение высш. проф. образования Академия ФСО России. – № 2011132138/08; заявл. 29.07.2011, опубл. 10.01.2013. Бюл. № 1. – 14 с.: ил.

149. Патент № 2480912 РФ, МПК H04B 10/25. Способ цифровой оптической связи / 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.

150. Патент № 2481709 РФ, МПК H04B 10/291. Способ передачи мультипротокольных информационных потоков и устройство для его реализации / 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.

151. Патент № 2506048 РФ, МПК A61B 5/16. Способ определения ложности передаваемой информации по динамике параметров невербального поведения человека: / 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.

152. Патент № 2510955 РФ, МПК G10L 15/00. Способ обнаружения эмоций по голосу / О.О. Басов, И.А. Саитов, 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.

153. Патент № 2546559 РФ, МПК G10L 19/00; A61B 5/00; G01R 13/00. Способ (варианты) определения психофизиологического состояния человека / О.О. Басов, И.А. Саитов 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.

154. Патент № 2546559 РФ, МПК G06K 9/62. Способ биометрической аутентификации пользователя / 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.

155. Патент № 2571537 РФ, МПК G06F 7/62. Способ оптимизации структуры устройства: пат. / С.П. Богданов, О.О. Басов и др.; патентообладатель: гос. казенное образовательное учреждение высш. проф. образования Академия ФСО России. – № 2013123327/08; заявл. 21.05.2013, опубл. 24.11.2015, бюл. № 6. – 12 с.

156. Патент на полезную модель № 77717 РФ, МПК G10L 15/00. Обнаружитель активности речи / О. О. Басов, И. А. Саитов и др.; патентообладатель гос. казенное образовательное учреждение высш. проф. образования Академия ФСО России. – № 2008124284/22; заявл. 16.06.2008, опубл. 27.10.2008. Бюл. № 30. – 2 с.: ил.

157. Патент на полезную модель № 78977 РФ, МПК G10L 11/00. Анализатор основного тона и сигнала тон-шум / О.О. Басов, А.А. Рыболовлев и др.; патентообладатель гос. казенное образовательное учреждение высш. проф. образования Академия ФСО России. – № 2008126595/22; заявл. 30.06.2008, опубл. 10.12.2008. Бюл. № 34. – 2 с.: ил.

158. Патент на полезную модель № 92590 РФ, МПК H04B 10/12. Автоматическое устройство неблокируемой маршрутизации для волоконно-оптических сетей связи: пат. на полезную модель / И.А. Саитов, О. О. Басов и др.; патентообладатель гос. казенное образовательное учреждение высш. проф. образования Академия ФСО России. – № 2009139559/22; заявл. 26.10.2009, опубл. 20.03.2010. Бюл. № 8. – 3 с.: ил.

159. Патент на полезную модель № 144229 РФ, МПК G06F 21/00; H04M 3/42. Устройство защиты информации от субъективных непреднамеренных воздействий: пат. на полезную модель / О. О. Басов, В. В. Никитин и др.; патентообладатель гос. казенное образовательное учреждение высш. проф. образования Академия ФСО России. – № 2014111648/08; заявл. 26.03.2014, опубл. 10.08.2014. Бюл. № 22. – 2 с.: ил.

160. Патент на полезную модель № 144230 РФ, МПК G06F 21/00; H04M 3/42. Устройство защиты абонентского терминала от несанкционированного доступа к линии связи / О.О. Басов, В.В. Никитин и др.]; патентообладатель гос. казенное образовательное учреждение высш. проф. образования Академия ФСО России. – № 2014111685/08; заявл. 26.03.2014, опубл. 10.08.2014. Бюл. № 22. – 2 с.: ил.

161. Петухов, Г.Б. Основы теории эффективности целенаправленных процессов: учебник. Ч.1. Методология, методы, модели / Г.Б. Петухов. – Министерство обороны СССР. – 1989. – 656 с.

162. Пиз, А. Язык телодвижений / А. Пиз. – Новгород: Аи Кью, 1992. – 266 с.

163. Пичкалев, А.В. Обобщенная функция желательности Харрингтона для сравнительного анализа технических средств / А.В. Пичкалев // Исследования наукограда. – 2012. – № 1(1). – С. 25–28.

164. Попков, Ю.С. Теория макросистем (равновесные модели) / Ю.С. Попков. – М.: Эдиториал УРСС, 1999. – 320 с.

165. Расчесова, А.Г. Нагрузочная характеристика в оценке эффективности сети ПД и ее системы технической эксплуатации / А.Г. Расчесова // Техника средств связи. – 1990. – № 10. – С. 68–79.

166. Рекомендация МСЭ-Т E.430. Система качества обслуживания. Официальный сайт Международного союза электросвязи [Электронный ресурс]. – 5 с. – Режим доступа: www.itu.int.

167. Рекомендация МСЭ-Т E.800. Определение терминов, относящихся к качеству обслуживания. Официальный сайт Международного союза электросвязи [Электронный ресурс]. – 32 с. – Режим доступа: www.itu.int.

168. Рекомендация МСЭ-Т E.802. Принципы и методики определения и применения параметров QoS. Официальный сайт Международного союза электросвязи [Электронный ресурс]. – 38 с. – Режим доступа: www.itu.int.

169. Рекомендация МСЭ-Т E.804. QoS aspects for popular services in mobile networks. Официальный сайт Международного союза электросвязи [Электронный ресурс]. – 446 с.– Режим доступа: www.itu.int.

170. Рекомендация МСЭ-Т G.1010. Категории качества обслуживания конечного пользователя. Официальный сайт Международного союза электросвязи [Электронный ресурс]. – 18 с. – Режим доступа: www.itu.int.

171. Рекомендация МСЭ-Т I.350. Основные положения качества обслуживания и производительности сети в цифровых сетях, включая ЦСИО. Официальный сайт Международного союза электросвязи [Электронный ресурс]. – 17 с. – Режим доступа: www.itu.int.

172. Ронжин, А.Л. Методы и программные средства многоканальной дистанционной обработки речи и их применение в интерактивных многомодальных приложениях : дис. ... д-ра техн. наук: 05.13.11 / Ронжин Андрей Леонидович. – СПб. – 2010. – 299 с.

173. Ронжин, А.Л. Проектирование интерактивных приложений с многомодальным интерфейсом / А.Л. Ронжин, А.А. Карпов // Доклады ТУСУРа. – 2010. – № 1 (21), часть 1. – С. 124–127.

174. Ронжин, А.Л. Разработка многомодального информационного киоска / А.Л. Ронжин, А.А. Карпов, А.Б. Леонтьева, Б.Е. Костюченко // Труды СПИИРАН. – СПб.: Наука, 2007. – Вып. 5, Т. 1.– С. 227–245.

175. Ронжин, А.Л. Речевой и многомодальный интерфейсы / А.Л. Ронжин, А.А. Карпов, И.В. Ли. – М.: Наука, 2006. – 173 с.
176. Ронжин, Ал.Л. Система аудиовизуального мониторинга участников совещания в интеллектуальном зале / Ал.Л. Ронжин, Ал.Л. Ронжин // Доклады ТУСУРа. – 2011. – № 1 (22), часть 1. – С. 153–157.
177. Руководящий технический материал по качеству услуг и качеству обслуживания на телефонных сетях связи общего пользования и сетях связи с подвижными объектами. – СПб. : ЛОНИИС, 2002. – 57 с.
178. Рыжов, А.П. Элементы теории нечетких множеств и измерения нечеткости : моногр. / А.П. Рыжов. – М.: Диалог-МГУ, 1998. – 202 с.
179. Саитов, И.А. Основы теории построения защищенных мультипротокольных оптических транспортных сетей телекоммуникационных систем : монограф. / И.А. Саитов. – Орёл: Академия ФСО России, 2008. – 220 с.
180. Саитов, И.А. Построение структуры транспортной сети связи / И.А. Саитов, Б.И. Соловьев, О.О. Басов, И.Г. Кобзарева // ВЕСТНИК РГРТУ.– Рязань, 2009. – № 3 (выпуск 29). – С. 11–18.
181. Саитов, И.А. «Проблемы роста» роли оптической транспортной сети в телекоммуникационной системе / И.А. Саитов // Телекоммуникации. – 2010. – № 3. – С. 30–35.
182. Саитов, И.А. Теоретические основы построения средств связи оптического диапазона: учеб. пособие / И.А. Саитов, В.М. Щекотихин. – Орёл: Академия ФСО России, 2008. – 490 с.
183. Сапожков, М.А. Вокодерная связь / М.А. Сапожков, В.Г. Михайлов. – М.: Радио и связь, 1983. – 248 с.
184. Сейдж, Э. Теория оценивания и ее применение в связи и управлении / Э. Сейдж, Дж. Мелс. – М.: Связь, 1976. – Вып. 6. – 496 с.
185. Сергеев, С.Ф. Введение в проектирование интеллектуальных интерфейсов: учебное пособие / С.Ф. Сергеев, П.И. Падерно, Н.А. Назаренко. – СПб.: СПбГУ ИТМО, 2011. – 108 с.

186. Сергиенко, А.Б. Цифровая обработка сигналов / А.Б. Сергиенко. – СПб: Питер, 2002. – 608 с.
187. Статистические методы обработки результатов наблюдений / под ред. Р.М. Юсупова. – Л.: МО СССР, 1984. – 563 с.
188. Степанов, С.Н. Основы телетрафика мультисервисных сетей / С.Н. Степанов. – М.: Эко-Трендз, 2010. – 392 с.
189. Сумин, В.А. Рефлексивные нормы взаимодействия в системе управления / В.А. Сумин // Научные труды ДонНТУ. Серия: экономическая. – 2005. – Вып. 91. – С. 179–188.
190. Татт, У. Теория графов. Алгоритмический подход / У. Татт, Н. Кристофидес. – М.: Мир, 1978. – 429 с.
191. Таха, Х. Введение в исследование операций. Часть 1; пер. с англ. / Х. Таха. – М.: Мир, 1985. – 479 с.
192. Техническое творчество: теория, методология, практика. Энциклопедический словарь-справочник / под ред. А.И. Половинкина, В.В. Попова. – М.: НПО «ИНФОРМ-Система», 1995. – 408 с.
193. Тимофеев, В.Ф. Концептуально-математическая модель системы эксплуатации сети связи / В.Ф. Тимофеев и др. // Информация и космос. – 2004. – № 3. – С. 55–60.
194. Тиунов, С.Д. Оптимизация вычисления одновременной маскировки речевого сигнала / С.Д. Тиунов, Р.В. Мещеряков, Д.В. Черных // Труды СПИИРАН. – 2014. – Вып. 32. – С. 45-57.
195. Устинов, А.А. Стохастическое кодирование видео- и речевой информации : моногр.: в 2 ч. / А.А Устинов; под ред. проф. В.Ф. Комаровича. – СПб.: ВАС, 2005.
196. Фейерабенд, П. Избранные труды по методологии науки: пер. с нем. и англ. / П. Фейерабенд. – М.: Прогресс, 1986. – 471 с.
197. Флейшман, Б.С. Основы системологии / Б.С. Флейшман. – М.: Радио и связь, 1982. – 368 с.

198. Фомин, Я.А. Статистическая теория распознавания образов / Я.А. Фомин, Г.Р. Тарловский. – М.: Радио и связь, 1986. – 264 с.
199. Фрумкин, Г.Д. Расчет и конструирование радиоаппаратуры: Учеб. для радиотехнич. спец. техникумов / Г.Д. Фрумкин. – М.: Высшая школа, 1989. – 463 с.
200. Хайкин, С. Нейронные сети: полный курс: пер. с англ. / С. Хайкин. – 2-е изд., испр. – М.: ООО "И. Д. Вильямс", 2006. – 1104 с.
201. Хрусталева, Е.Ю. Концептуальное моделирование военной безопасности государства / Д.И. Макаренко, Е. Ю. Хрусталева; Центр. Экон.-мат. Ин-т РАН; Ин-т проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН. – М.: Наука, 2008. – 303 с.
202. Хандверкер, Х. Физиология человека: пер. с англ.; в 3-х т. / Х. Хандверкер; под ред. Р. Шмидта, Г. Тевса (перевод под ред. акад. П.Г. Костюка). – М.: Мир, 1996. – Т.1 – С. 178–196.
203. Хахамов, П.Ю. Метод определения уровня психологической пригодности специалистов информационно-телекоммуникационного обеспечения для выполнения задач в условиях кризисных ситуаций / П. Ю. Хахамов, О. О. Басов, Д. В. Жердев, М. М. Давыдов // Вестник Московского университета МВД, 2015. № 9. С. 254-260.
204. Хахамов, П.Ю. Методики исследования функционального состояния, психологических и психофизиологических качеств специалистов информационно-телекоммуникационного обеспечения / П. Ю. Хахамов, О. О. Басов, Д. В. Жердев, М. М. Давыдов // Вестник Московского университета МВД, 2015. № 10. С. 371-380.
205. Царегородцев, А.В. Основы синтеза защищенных телекоммуникационных систем / А.В. Царегородцев, А.С. Кислицын; под ред. Е.М. Сухарева. – М.: Радиотехника, 2006. – 256 с.
206. Цвиркун, А.Д. Основы синтеза структуры сложных систем / А.Д. Цвиркун. М.: Наука, 1982. 200 с.
207. Цыбизов, А.А. Оценка эффективности сетей связи / А.А. Цыбизов // Вестник РГРТУ. – 2009. – Вып. 3 (29), – С. 19–24.

208. Чисар, И. Теория информации: теоремы кодирования для дискретных систем без памяти / И. Чисар, Я. Кернер; пер. с англ. С. И. Гельфанда. – М.: Мир, 1985. – 400 с.
209. Шаракшанэ, А.С. Сложные системы / А.С. Шаракшанэ – М.: Высшая школа, 1977. – 248 с.
210. Шелухин, О. И. Фрактальные процессы в телекоммуникациях / О.И. Шелухин, А.М. Теняков, А.В. Осин. – М: Радиотехника, 2003. – 408 с.
211. Шелухин, О.И. Цифровая обработка и передача речи / О.И. Шелухин, Н.Ф. Лукьянцев; под ред. О.И. Шелухина. – М.: Радио и связь, 2000. – 456 с.
212. Шиффман, Х.Р. Ощущение и восприятие / Х.Р. Шиффман. – СПб: Питер, 2003. – 928 с.
213. Экман, П. Психология эмоций. Я знаю, что ты чувствуешь / П. Экман: пер. с англ.; 2-е изд. /– СПб.: Питер, 2010. – 334 с.
214. Юсупов, Р.М. От умных приборов к интеллектуальному пространству / Р.М. Юсупов, А.Л. Ронжин // Вестник Российской академии наук: научный и общественно-политический журнал. – 2010. – Том 80. Вып. 1. – С. 45–51.
215. Юсупов, Р.М. Наука и национальная безопасность. 2-е издание, переработанное и дополненное. – СПб.: Наука, 2011. – 369 с.
216. Юсупов Р.М., Заболотский В.П. Научно-методические основы информатизации. – СПб.: Наука, 2000. – 455 с.
217. Юсупов Р.М., Заболотский В.П., Иванов В.П. Человек в информационном пространстве // Проблемы информатизации. 1996. № 4. С. 3–7.
218. Ямпольский, В.З. Моделирование сетей передачи и обработки информации / В.З. Ямпольский, В.П. Комагоров, В.Н. Солдатов. – Новосибирск, 1986. – 137 с.
219. Ackerl, K. The Scent of Fear / K. Ackerl, M. Atzmuller, K. Grammer // Neuroendocrinology Letters. – 2002. – Vol. 23. – P. 79–84.
220. Aggarwal, J.K. Human motion analysis: a review / J.K. Aggarwal, Q. Cai // Comput. Vis. Image Understanding. – 1999. – Vol. 73. – P. 428–440.

221. Al-Najjar, Y.A.Y. Comparison of Image Quality Assessment: PSNR, HVS, SSIM, UIQI / Y.A.Y. Al-Najjar, D.C. Soong // *International Journal of Scientific & Engineering Research*. – 2012. – Vol. 3, Issue 8. – P. 1–5.
222. Angelou, M. *Cross-Layer Optimization for Optical Networks*. PhD Dissertation / M. Angelou. Universitat Politecnica de Catalunya. – 2012. – 152 p.
223. Argyropoulos, S. *Multimodal Framework for the Communication of the Disabled* / S. Argyropoulos, K. Moustakas, A. Karpov, O. Aran, D. Tzovaras, T. Tsakiris, G. Varni, B. Kwon // *Journal on Multimodal User Interfaces*. – 2008. – Vol. 2, № 2. – P. 105–116.
224. Atrey, P.K. *Multimodal fusion for multimedia analysis: a survey* / P.K. Atrey, M. A. Hossain, M. S. Kankanhalli // *Multimedia Systems*. 2010. – P. 345–379.
225. Awduche, D.O. *MPLS and Traffic Engineering in IP Networks* / D.O. Awduche // *IEEE Communications Magazine*. – 1999. – Vol. 37. No. 12. – P. 42–47.
226. Azodolmolky, S. *A survey on physical layer impairments aware routing and wavelength assignment algorithms in optical networks* / S. Azodolmolky, M. Klinkowski, E. Marin, D. Careglio, J. S. Pareta, I. Tomkos // *Computer Networks*. – 2009. – Vol. 53. No. 7. – P. 926–944.
227. Barnard, P.J. *Cognitive Resources and the Learning of Human-Computer Dialogues* / P.J. Barnard // *Interfacing Thought. Cognitive Aspects of Human-Computer Interaction* / J.M. Carroll (ed.). MIT Press Publ. – 1987. – P. 112–158.
228. Basov, O.O. *A Conceptual Model of Multicriterion Adaptation of the Linear Predictive Voice Coding Procedure* / O.O. Basov // *Telecommunications and Radio Engineering*. – 2009. – Vol. 68. No. 10. – P.923–931.
229. Basov, O.O. *Human resources management in conditions of operators' psychophysiological state changes* / O.O. Basov, M.V. Nosov // *16th International Conference, SPECOM 2014*. – Springer International Publishing Switzerland. A. Ronzhin et al. (Eds.): *SPECOM 2014, LNAI 8773*, 2014. pp. 259-268.
230. Basov, O.O. *Synthesis of Multi-service Infocommunication Systems with Multimodal Interfaces* / O. O. Basov, D. A. Struev, A. L. Ronzhin // *8th Conference*

ruSMART 2015. – Springer International Publishing Switzerland. S. Balandin et al. (Eds.): ruSMART 2015, LNCS 9247, 2015, pp. 128–139.

231. 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 // 8th Conference ruSMART 2015. – Springer International Publishing Switzerland. S. Balandin et al. (Eds.): ruSMART 2015, LNCS 9247, 2015, pp. 163–176.

232. 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 // 17th International Conference, SPECOM 2015. – Springer International Publishing Switzerland. A. Ronzhin et al. (Eds.): SPECOM 2015, LNAI 9319, 2015. pp. 65-72.

233. Basov, O.O. Optimization of procedures for determination and quantization of the pitch period of the speech signal / O.O. Basov, A.L. Ronzhin, V.U. Budkov // 17th International Conference, SPECOM 2015. – Springer International Publishing Switzerland. A. Ronzhin et al. (Eds.): SPECOM 2015, LNAI 9319, 2015. pp. 317-324.

234. Basov, O.O. Reasoning of the Transition to Polymodal Infocommunicational Systems / O.O. Basov // Distributed computer and communication networks: control, computation, communication – DCCN-2015. 19-22 oct. 2015.

235. Becker, N. Multimodal Interface for mobile clients / N. Becker // Technical report TRITA-NA-E01102. – 2001.

236. Bengio, S. Multimodal authentication using asynchronous HMMs / S. Bengio // In: The 4th International Conference Audio and Video Based Biometric Person Authentication. Guildford. Springer-Verlag. – 2003. – P. 770–777.

237. Benoit, C. Audio-visual and multimodal speech systems / C. Benoit, J.C. Martin, C. Pelachaud, L. Schomaker, B. Suhm // Handbook of Standards and Resources for Spoken Language Systems, Supplement Volume. – Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2000.

238. Bouguet, J.-Y. Pyramidal Implementation of the Lucas-Kanade Feature Tracker Description of the algorithm / J.-Y. Bouguet // Intel Corporation Microprocessor Research Labs.

239. Bradsky, G. Learning OpenCV / G. Bradsky, A. Kaehler. O'Reilly Publisher. – 2008. – 571 p.
240. Brooks, R.R. Multi-sensor Fusion: Fundamentals and Applications with Software / R.R. Brooks, S.S. Iyengar // Prentice Hall PTR, Upper Saddle River, NJ. – 1998.
241. Card, S.K. The Psychology of Human-Computer Interaction / S.K. Card, T.P. Moran, A. Newell // Lawrence Erlbaum Associates. – 1983.
242. Castrillyn, M. A Comparison of Face and Facial Feature Detectors based on the Viola-Jones General Object Detection Framework / M. Castrillyn, O. Deniz, D. Hernandez, J. Lorenzo // Machine Vision and Applications. – Vol. 22. Issue 3. – P. 481–494.
243. Chan, T. HMM-based audio-visual speech recognition integrating geometric and appearance-based visual features / T. Chan // IEEE 2nd Workshop on Multimedia Signal Processing. – 2001. – P. 9–14.
244. Chen, Y. Optical burst switching: a new area in optical networking research / Y. Chen, C. Qiao, X. Yu // IEEE Network. – 2004. – Vol. 18. No. 3. – P. 16–23.
245. Dahlback, N. Wizard of Oz Studies – Why and How / N. Dahlback, A. Jonsson, L. Ahrenberg // Knowledge-Based Systems. – 1993. – Vol. 6. No. 4. – P. 258–266.
246. Daubias, P. Statistical Lip-Appearance Models Trained Automatically Using Audio Information / P. Daubias, P. Deleglise // EURASIP Journal on Applied Signal Processing. – 2002. – Vol. 11. – P. 1202–1212.
247. Dotaro, E. Multi-region networks: generalized multi-protocol label switching (GMPLS) as enabler for vertical integration / E. Dotaro, M. Vigoureux, D. Papadimitriou // Proc. IEEE Global Telecommunications Conference (GLOBECOM 2004). – Dallas, USA, 2004. – P. 374–379.
248. Duser, M. Analysis of a dynamically wavelength-routed optical burst switched network architecture / M. Duser, P. Bayvel // Journal of Lightwave Technology. – 2002. – Vol. 20. No. 4. – P. 574–585.
249. Ekman, P. The repertoire of non-verbal behavior: categories, origins, usage and coding / P. Ekman, W.V. Friesen // Semiotica. – 1969. – Vol. 1. – P. 49–98.

250. Emmers, T.M. The effect of relational stage and intimacy on touch: an extension of Guerrero and Andersen / T.M. Emmers, K. Dindia // *Personal Relationships*. – 1995. – Vol. 2. – P. 225–236.
251. Fasel, B. Automatic Facial Expression Analysis: a survey / B. Fasel, et al. // *Pattern Recognition*. – 2003. – Vol. 36. – P.259–275.
252. Field, A. *Discovering Statistics using IBM SPSS Statistics* / A. Field. SAGE Publications Ltd. – 2013. – 952 p.
253. Geppener, V.V. Applications of empirical mode decomposition for processing nonstationary signals / V.V. Geppener, D.M. Klionski, N.I. Oreshko et al. // *Pattern Recognition and Image Analysis*. – 2008. – Vol. 18. No. 3. – P. 390–399.
254. Hsu, W.H.M. Generative, discriminative, and ensemble learning on multi-modal perceptual fusion toward news story segmentation / W.H.M. Hsu, S.F. Chang // In: *IEEE International Conference on Multimedia and Expos*. – Taipei, 2004. – P. 1091–1094.
255. Jaffre, G. Audio/video fusion: a preprocessing step for multimodal person identification / G. Jaffre, J. Pinquier // In: *International Workshop on MultiModal User Authentication*. – Toulouse, France, 2006.
256. Juan, A. *Integrated Handwriting Recognition and Interpretation via Finite-State Models* / A. Juan, A.H. Toselli, J. Domnech, J. González, I. Salvador, E. Vidal, F. Casacuberta // *Technical Report ITI-ITE-01/1*. – Institut Tecnologic d'Informatica. Valencia (Spain), 2001.
257. Kieras, D. An Approach to the Formal Analysis of User Complexity / D Kieras, P. G. Polson // *International Journal of Man-Machine Studies*. – 1985. – Vol. 22. – P. 365–394.
258. Klemmer, S. R. SUEDE: A Wizard of Oz Prototyping Tool for Speech User Interfaces / S. R. Klemmer et al. // *Proc. UIST 2000. CHI Letters*. – 2000. – Vol. 2. Issue 2. – P. 1–10.
259. Lewis, C. Testing a Walkthrough Methodology for Theory-Based Design of Walk-Up-and-Use Interfaces / C. Lewis, P. Polson, C. Wharton et al. // *Proc. CHI'90*. – 1990. – P. 235–241.

260. Löwgren, J. Knowledge-Based Tool for User Interface Evaluation and its Integration in a UIMS / J. Löwgren, T.A. Nordqvist // Human-Computer Interaction INTERACT '90. – 1990. – P. 395–400.
261. Maglio, P.P. Gaze and Speech in Attentive User Interfaces / P.P. Maglio, et al. // Proc. of the Third International Conference on Multimodal Interfaces. – Beijing, China, 2000. – P. 1–7.
262. Mankoff, J. Error Correction Techniques for Handwriting, Speech, and other ambiguous or error prone systems / J. Mankoff, G.D. Abowd // GVU TechReport GIT-GVU-99-18. – 1999.
263. Matthews, I. Lipreading Using Shape, Shading and Scale / I. Matthews, et al. // School of Information Systems. – University of East Anglia, Norwich, 1998. – P. 73–78.
264. Maulsby, D. Prototyping an Intelligent Agent through Wizard of Oz / D. Maulsby, S. Greenberg, R. Mander // Proc. InterCHI'93. – 1993. – P. 277–284.
265. Mitra, S. Gesture Recognition: a survey / S. Mitra, T. Acharya // IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics – Part C: Applications and reviews. – 2007. – Vol. 37. No. 3. – P. 311–324.
266. Moran, D. Multimodal user interfaces in the Open Agent Architecture / D. Moran, A. Cheyer, L. Julia et al. // Proc. of IUI-97. – Orlando, 1997. – P. 61–68.
267. Oviatt, S.L. Multimodal interfaces / S.L. Oviatt // The Human-Computer Interaction Handbook: Fundamentals. Evolving Technologies and Emerging Applications. – Mahwah, NJ, 2003. – Vol. 14. – P. 286–304.
268. Oviatt, S. Taming speech recognition errors within a multimodal interface / S. Oviatt // Commun. ACM. – 2000. – Vol. 43. Issue 9. – P. 45–51.
269. Pinz, A. Interpretation and fusion recognition versus reconstruction / A. Pinz. – Vision Milestones, OGAI lecture series. – 1995. – P. 9–21.
270. Powers, D.M.W. Evaluation: From Precision, Recall and F-measure to ROC, Informedness, Markedness & Correlation / D.M.W. Powers // Journal of Machine Learning Technologies. – 2011. – Vol.2. Issue 1. – P. 37–63.
271. Qiao, C. Choices, features and issues in optical burst switching / C. Qiao, M. Yoo // Optical Networking Magazine. – 2000. – Vol.1. No. 2. – P. 36–44.

272. Rabiner, L.R. A tutorial on hidden Markov models and selected applications in speech recognition / L. R. Rabiner // Proc. IEEE. – 1989. – Vol. 77. No. 2. – P. 257–285.

273. Rabiner, L.R. Fundamentals of speech recognition / L.R. Rabiner, B.H. Juang. – New Jersey: Prentice Hall PTR Englewood Cliffs, 1993. – 507 p.

274. Rares, A. Image Interpretation Systems / A. Rares, M.J.T. Reinders, E.A. Hendriks // Technical Report (MCCWS 2.1.1.3.C), MCCWS project, Information and Communication Theory Group. TU Delft. – 1999. – 32 p.

275. Reeker, L.H. Performance Metrics for Intelligent Systems / L.H. Reeker // PerMIS Workshop. – 2007. – URL: www.isd.mel.nist.gov.

276. Ronzhin, A. Challenges of Russian Speech Processing in Multimodal Applications / A. Ronzhin // In: Systemtheorie. Signalverarbeitung. Sprachtechnologie. Rudiger Hoffmann zum 65.Geburtstag. Studentexte zur Sprachkommunikation. Dresden: TUD Press, 2013. – P. 82–87.

277. Ronzhin, A.L. Russian Voice Interface / A.L. Ronzhin, A.A. Karpov // Pattern Recognition and Image Analysis. – 2005. – Vol. 15. No. 2. – P. 432–434.

278. Rosen, E. Multiprotocol label switching Architecture / E. Rosen, A. Viswanathan, R. Callon // RFC 3031. –2001. – 144 p.

279. Salber, J.C. Applying the Wizard of Oz Technique to the Study of Multimodal Systems / J.C. Salber // Proc. EWHCI'93. – Berlin: Springer-Verlag, 1993. – P. 219–230.

280. Sascha, F. Audiovisual speech: analysis, synthesis, perception and recognition / F. Sascha // 16th International Congress of Phonetic Science. – Saarbrücken, 2007. – P. 275–278.

281. Satoh, S. Name-It: Naming and detecting faces in news video / S. Satoh, Y. Nakamura, T. Kanade // IEEE Multimed. – 1999. – Vol. 6. Issue.1. – P. 22–35.

282. Saxena, A. Robust facial expression recognition using spatially localized geometric model / A. Saxena, A. Anand, A. Mukerjee // In: International Conference on Systemics, Cybernetics and Informatics. – 2004.

283. Schomaker, L. A Taxonomy of Multimodal Interaction in the Human Information Processing System / L. Schomaker et al. // Report of the ESPRIT PROJECT 8579. – 1995.
284. Shinohara, M. Extended model of ATOMIS 16: multiservice switching system / M. Shinohara, T. Yorinaga, I. Kenji, H. Itoh, A. Itoh, K. Yamada // NEC Research and Development. – 2001. – Vol. 42. No. 2. – P. 143–146.
285. Shotton, J. Real-Time Human Pose Recognition in Parts from Single Depth Images / J. Shotton, et al. // Communications of the ACM. – 2013. – Vol. 56. No. 1. – P. 116– 124.
286. Siegel, M. Confidence fusion / M. Siegel, H. Wu // In: IEEE International Workshop on Robot Sensing. – 2004. – P. 96–99.
287. Similar. Dreams: Multimodal Interfaces in Our Future Life. / Similar // UCL Presses Universitaires de Louvain. – 2005. – 350 p.
288. Sushmita, M. Gesture Recognition: A Survey / M. Sushmita, A. Tinku // IEEE Transactions On Systems, Man, And Cybernetics – Part C: Applications and Reviews. – 2007. – Vol. 37. No. 3. – P. 331–324.
289. Wang, S. Efficient sampling of training set in large and noisy multimedia data / S. Wang, M. Dash, L.T. Chia, M. Xu // ACM Trans. Multimed. Comput. Commun. Appl. – 2007. – Vol. 3. Issue 3. – P. 14.
290. Wang, Z. Image quality assessment: from error visibility to structural similarity / Z. Wang, A. C. Bovik, H. R. Sheikh, E. P. Simoncelli // IEEE Transaction on Image Processing. – 2004. – Vol. 13. No. 4. – P. 600–612.
291. Yang, W. Enhanced Modified Bark Spectral Distortion (EMBSD): An Objective Speech Quality Measure Based On Audible Distortion And Cognition Model / W. Yang // A Dissertation of the Requirement for the Degree Doctor of Philosophy. – 1999.
292. Yoo, M. QoS performance of optical burst switching in IP-over-WDM networks / M. Yoo, C. Qiao, S. Dixit // IEEE Journal on Selected Areas in Communications. – 2000. – Vol. 18. No. 10. – P. 2062–2071.
293. Zhifeng, L. A Discriminative Model for Age Invariant Face Recognition / L. Zhifeng, P. Unsang, K.J. Anil // In: IEEE Transactions on Information Forensics And Security. – 2011. – Vol. 6. Issue 3. – P. 1028– 1037.