

МИНИСТЕРСТВО СВЯЗИ И МАССОВЫХ КОММУНИКАЦИЙ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО СВЯЗИ
Федеральное государственное унитарное предприятие
Ордена Трудового Красного Знамени
научно-исследовательский институт радио

На правах рукописи

Сущенко Николай Анатольевич

**Повышение эффективности
использования ограниченных ресурсов при оказании
конвергентных инфокоммуникационных услуг**

05.12.13 — Системы, сети и устройства телекоммуникаций

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук,
Сарьян Вильям Карпович

Москва — 2015

Оглавление

Введение	6
1 Обзор проблем и методов оценки эффективности использования ограниченных ресурсов при оказании конвергентных инфокоммуникационных услуг	14
1.1 Конвергентные инфокоммуникационные (ИК) услуги	14
1.2 Постановка проблемы повышения эффективности использования ограниченных ресурсов (ЭИОР)	17
1.3 Существующие методики оценки ЭИОР	20
1.3.1 Международные организации, занимающиеся оценкой ЭИОР	20
1.3.2 Показатели, используемые для оценки ЭИОР в области ИКТ	22
1.3.3 Преимущества и недостатки применения различных типов показателей	25
1.3.4 Методы многокритериальной оценки альтернатив	28
1.4 Требования к показателям ЭИОР при оказании конвергентных ИК услуг	33
1.5 Выводы по главе 1	34
2 Модель конвергентной инфокоммуникационной услуги	36
2.1 Обоснование необходимости разработки модели конвергентной ИК услуги	36
2.2 Понятия модели конвергентной ИК услуги	37
2.2.1 Понятия теории целеустремленных систем	37
2.2.2 ИК услуга и связанные понятия	39
2.3 Основные показатели ЭИОР	44
2.4 Соответствие разработанной модели поставленным требованиям .	47
2.5 Методика аналитического вычисления функции ограниченных ресурсов	50

2.5.1	Иерархическая декомпозиция пользовательской задачи . . .	56
2.6	Выводы по главе 2	58
3	Расчет показателей эффективности использования ограниченных ресурсов при помощи имитационного моделирования	61
3.1	Методика расчета показателей ЭИОР при помощи имитационного моделирования	61
3.1.1	Этап 1. Определение параметров модели.	61
3.1.2	Этап 2. Формализация алгоритма реализации пользовательской задачи.	63
3.1.3	Этап 3. Итерационное вычисление ФОР.	70
3.1.4	Этап 4. Расчет коэффициента ЭИОР	73
3.2	Расчет показателей ЭИОР для узла сенсорной сети	73
3.2.1	Программная реализация методики	74
3.2.2	Выбор конфигурации узла сенсорной сети с применением показателей ЭИОР	77
3.3	Выводы по главе 4	80
4	Вопросы практической применимости разработанных моделей и методик	82
4.1	Методика расчета показателей ЭИОР в реальном времени	82
4.1.1	Линейное приближение функции ограниченных ресурсов . .	82
4.1.2	Аналогия с электрическими цепями	83
4.1.3	Традиционная ИК услуга с несколькими подзадачами	85
4.1.4	Конвергентная ИК услуга с одной подзадачей	88
4.1.5	Конвергентная ИК услуга с несколькими подзадачами . . .	93
4.1.6	Учет взаимосвязи показателей ЭИОР	96
4.1.7	Расчет показателей ЭИОР в режиме реального времени . . .	103
4.2	Проверка устойчивости	103
4.3	Выводы по главе 4	107
5	Внедрение результатов работы	109

5.1	Проведение оценки степени эффективности использования ИКТ в Приднестровской Молдавской Республике с учетом планов по внедрению конвергентных ИК услуг	109
5.1.1	Постановка задачи	109
5.1.2	Применение информационно-управленческой сети на базе цифрового телевидения для получения необходимой статистической информации	110
5.1.3	Показатели эффективности использования ИКТ	113
5.1.4	Применение «больших данных» для расчета показателей эффективности использования ИКТ	115
5.1.5	Практические рекомендации параграфа 5.1	117
5.2	Оценка эффективности сенсорных управленческих сетей	117
5.2.1	Сенсорные управленческие сети	117
5.2.2	Задача оценки эффективности использования ограниченных ресурсов для сенсорных управленческих сетей	119
5.2.3	Система обеспечения индивидуальной безопасности при чрезвычайных ситуациях	121
5.2.4	Разработка программы для микроконтроллера узла сенсорной сети по распределению ограниченных ресурсов в режиме реального времени	125
5.2.5	Контрольные сети	128
5.2.6	Практические рекомендации параграфа 5.2	129
5.3	Выбор системы доставки высокоточной эфемеридно-временной информации по наземным каналам связи с точки зрения ЭИОР . .	130
5.3.1	Постановка задачи	130
5.3.2	Рассматриваемые ИК услуги	131
5.3.3	Факторы, влияющие на функцию ограниченных ресурсов .	132
5.3.4	Оценка альтернатив	135
5.3.5	Практические рекомендации параграфа 5.3	136
5.4	Выводы по главе 5	137

Заключение	139
Список сокращений и условных обозначений	142
Словарь терминов	143
Список литературы	146
Приложение. Акты о внедрении	159

Введение

Актуальность темы исследования. В настоящее время происходит формирование единой информационной среды, в которой ранее различные информационные средства, такие как телефония, телерадиовещание, передача данных, интегрируются с использованием общих интерфейсов и единых терминалов. Одним из проявлений этого процесса является возникновение конвергентных инфокоммуникационных (ИК) услуг, которые предполагают параллельное использование различных видов сетей связи и вещания, медийных носителей (голоса, данных, видео), мобильных и стационарных терминалов. Целью формирования конвергентных ИК услуг является обеспечение удобства, надежности и безопасности для пользователя и, в конечном итоге, повышение его уровня жизни. Все большее распространение конвергентные ИК услуги получают сейчас в таких областях, как электронное правительство, электронная торговля, навигация, управление при чрезвычайных ситуациях.

Появление конвергентных ИК услуг делает вновь актуальными ряд вопросов, которые уже были решены для традиционных ИК услуг. В частности, возникает проблема оценки эффективности использования ограниченных ресурсов (ЭИОР), например, радиочастотного спектра, времени занятия каналов связи, электроэнергии, времени, затрачиваемого обслуживаемым персоналом и пользователями. В результате того, что данные ограниченные ресурсы распределяются на основе традиционных методов оценки ЭИОР, не учитывающих конвергенцию, эффективность использования этих ресурсов снижается.

Высокая важность вопроса повышения ЭИОР не вызывает сомнений. Общепризнанным является и то, что для решения этого вопроса в единой инфокоммуникационной среде необходимы новые методы оценки ЭИОР. Это подтверждается, например, тем, что на Встрече на высшем уровне по вопросам информационного общества (ВВУИО) в Женеве (2003 г.) был разработан План действий, предусматривающий создание международной системы качественной и количественной оценки ЭИОР, с тем чтобы вести наблюдение за выполнением

задач, достижением целей и контрольных показателей развития инфокоммуникационных технологий (ИКТ).

Степень разработанности темы. Вопросами повышения ЭИОР при оказании ИК услуг занимается целый ряд международных организаций, включая Международный союз электросвязи (МСЭ), Организацию экономического сотрудничества и развития (ОЭСР), Конференцию Организации Объединенных Наций по торговле и развитию (ЮНКТАД), Центр международного промышленного сотрудничества (ЮНИДО), Организацию Объединенных Наций по вопросам образования, науки и культуры (ЮНЕСКО), статистическую службу Европейского Союза ЕВРОСТАТ.

Для многих традиционных ИК услуг к настоящему моменту уже сформирован набор хорошо зарекомендовавших себя показателей ЭИОР. Однако возникает проблема их использования для конвергентных ИК услуг, поскольку такие показатели зачастую имеют весьма ограниченную область применения и не учитывают возможность использования различных видов сетей, медийных носителей и терминалов.

Между тем, конвергентные ИК услуги занимают все большую долю в общем объеме оказываемых ИК услуг. Примером являются сенсорные сети, в которых большинство ИК услуг являются конвергентными.

Лицам, ответственным за политику в области ИКТ, для обоснованного распределения ограниченных ресурсов необходима достоверная информация о полезном эффекте от оказания конвергентных ИК услуг по отношению к затрачиваемым на них ограниченными ресурсам. По этой причине органы власти, частные компании, международные организации, от которых зависит распределение ограниченных ресурсов, крайне заинтересованы в методах оценки ЭИОР, которые бы позволяли получить такую информацию.

Целью диссертационной работы является разработка показателей ЭИОР, позволяющих повысить ЭИОР при применении их для распределения ограниченных ресурсов при оказании конвергентных ИК услуг.

Поставленная цель определила необходимость решения следующих **задач**:
– анализ существующих подходов к оценке ЭИОР как в области ИКТ;

- разработка модели конвергентной ИК услуги;
- разработка показателей ЭИОР, основанных на предложенной модели и применимых для конвергентных ИК услуг;
- разработка методик расчета предложенных показателей ЭИОР, в том числе при помощи имитационного моделирования;
- выполнение расчета предложенных показателей ЭИОР для узла сенсорной сети и сравнение его результатов с другими методиками оценки ЭИОР.

Объектом исследования являются конвергентные ИК услуги.

Предметом исследования являются вопросы распределения ограниченных ресурсов и оценки ЭИОР, модели ИК услуг, методы многокритериальной оценки альтернатив.

Научная новизна диссертационной работы заключается в том, что в ней впервые решены следующие проблемы:

1. Разработана модель конвергентной ИК услуги, в основу которой по сравнению с известными моделями положен понятийный аппарат теории целеустремленных систем.
2. Предложена методика расчета показателей ЭИОР в режиме реального времени для системы индивидуализированного управления при чрезвычайных ситуациях.

Методы исследования. Для решения поставленных задач в работе используются методы теории вероятностей, тензорного анализа сетей, анализа иерархий, теории целеустремленных систем.

Теоретическую основу исследования составили работы по развитию ИКТ А. С. Аджемова, В. В. Бутенко, А. Е. Кучерявого, Р. В. Мещерякова, А. П. Назаренко, В. К. Сарьяна, проектированию информационно-телекоммуникационных сетей А. А. Зацаринного, конвергентным ИК услугам Г. П. Яновского, исследованию сложных систем Г. Крона, Н. Н. Талеба, С. Л. Саважа, теории принятия решений Т. Л. Саати, теории целеустремленных систем Р. Акоффа и Ф. Эмери и др.

Практическая значимость работы состоит в том, что разработанные модели и методики позволяют при эксплуатации систем, сетей и устройств те-

лекоммуникаций производить оценку ЭИОР в режиме реального времени без необходимости привлечения экспертных суждений, а при внедрении новых ИКТ – сократить количество необходимых экспертных суждений до 75%, тем самым повышая объективность и снижая трудозатраты при проведении оценки ЭИОР.

Внедрение результатов работы. Полученные в диссертации результаты использовались:

– для выбора показателей эффективности использования ИКТ в Приднестровской Молдавской Республике (ПМР) с учетом планов по внедрению конвергентных ИК услуг и разработки методика их расчета по заказу Приднестровского государственного университета им. Т. Г. Шевченко;

– в научно-исследовательской работе «Разработка Методики измерения степени развитости ИКТ» по заказу Всероссийского научно-исследовательского института проблем вычислительной техники и информатизации (ФГУП ВНИИП-ВТИ);

– при разработке проектного предложения в Азиатско-Тихоокеанское экономическое сотрудничество (АТЭС) от Администрации связи России “Indicators of information society development in the APEC region”.

– для выбора каналов передачи данных системы доставки высокоточной эфемеридно-временной информации по наземным каналам связи (в рамках научно-исследовательской работы «Исследование вопросов эффективности применения высокоточной ЭВИ, передаваемой потребителю по каналам связи в реальном времени», проводимой в рамках федеральной целевой программы «Поддержание, развитие и использование системы ГЛОНАСС на 2012-2020 годы»);

– в учебном процессе кафедры Радио и информационных технологий факультета Радиотехники и кибернетики Московского физико-технического института (государственного университета), а также при чтении лекций, проведении практических и лабораторных работ по дисциплине «Управление IT-сервисами и контентом» в Приднестровском государственном университете им. Т. Г. Шевченко.

Соответствие диссертационной работы паспорту научной специальности. Диссертационная работа содержит исследование вопросов создания но-

вых методов обеспечения эффективного функционирования систем, сетей и устройств телекоммуникаций и соответствует следующим пунктам паспорта научной специальности специальности 05.12.13: «2. Разработка эффективных путей развития и совершенствования архитектуры сетей и систем телекоммуникаций и входящих в них устройств», «11. Разработка научно-технических основ технологии создания сетей, систем и устройств телекоммуникаций и обеспечения их эффективного функционирования», «12. Разработка методов эффективного использования сетей, систем и устройств телекоммуникаций в различных отраслях народного хозяйства».

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Модель конвергентной ИК услуги, позволяющая определить качественные и количественные характеристики конвергентных ИК услуг.
2. Показатели ЭИОР для конвергентных ИК услуг.
3. Методика расчета показателей ЭИОР при помощи имитационного моделирования.
4. Методика расчета показателей ЭИОР в режиме реального времени для системы индивидуализированного управления при чрезвычайных ситуациях.
5. Результаты расчета оптимизированного распределения ограниченных ресурсов при проектировании узла сенсорной сети.

Степень достоверности и апробация результатов. Достоверность результатов работы подтверждается корректным применением математического аппарата и широким спектром публикаций. Основные результаты диссертационной работы обсуждались на 51-й, 52-й, 53-й, 54-й, 55-й, 56-й Всероссийской научной конференции «Актуальные проблемы фундаментальных и прикладных наук в современном информационном обществе» МФТИ (Долгопрудный, 2008—2013); 4-й, 5-й, 6-й, 7-й, 8-й научной конференции «Технологии информационного общества» МГУСИ (Москва, 2010—2014); 12-й международной научно-практической конференции «Современные информационные и электронные технологии» (Одесса, 2011). Подход к определению полезного эффекта от оказания конвергентных ИК услуг обсуждался на 23-й европейской конференции Международного телекоммуникационного общества (Вена, Австрия, 2012). Методика расчета показателей

ЭИОР в режиме реального времени была представлена на международной конференции МСЭ «Калейдоскоп-2014» (Санкт-Петербург, 2014). Результаты применения разработанных показателей для оценки эффективности сенсорных управленческих сетей изложены в техническом документе «Applications of wireless sensor networks in Next Generation Networks» (МСЭ, Швейцария, 2014). Практические рекомендации по выбору показателей для измерения информационного общества в ПМР, учитывающие планы по внедрению конвергентных ИК услуг, были представлены на республиканской научно-практической конференции «Роль государства в развитии экономики на современном этапе» (г. Тирасполь, ПМР, 2014).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 22 работы. Из них 10 статей в журналах из перечня журналов, рекомендованных ВАК, 11 докладов в материалах всероссийских и международных конференций, 1 международный технический документ.

Краткое содержание работы.

Во введении обоснована актуальность темы исследования, сформулированы цель и задачи; определены объект, предмет и методы исследования; раскрыты научная новизна, теоретическая и практическая значимости работы, ее апробация, представлены положения, выносимые на защиту.

В первой главе производится анализ опыта по повышению ЭИОР в области ИКТ. Отмечается, что существует два основных подхода: разработка и внедрение новых технологий и более рациональное распределение ограниченных ресурсов при эксплуатации существующих технологий. В диссертационной работе в первую очередь рассматривается оба подхода, при этом основное внимание уделяется первому из них.

Рассмотрены особенности конвергентных ИК услуг, определяющие особые требования к оценке ЭИОР.

Проанализирована система показателей развития ИКТ МСЭ. Показано, что данная система не учитывает появления и широкого распространения конвергентных ИК услуг. Также рассмотрен метод анализа иерархий (МАИ), поскольку он часто применяется для оценки ЭИОР. Автор показывает, что недостатки МАИ,

связанные необходимостью экспертных суждений и низкой устойчивостью в отношении ошибок при оценке маловероятных рисков, приводят к неверным результатам при применении МАИ ко многим задачам оценки ЭИОР при оказании конвергентных ИК услуг. Проведенный анализ позволил сформулировать основные требования, которым должны удовлетворять разрабатываемые показатели ЭИОР и определить набор необходимых моделей и методик.

Во второй главе построена модель конвергентной ИК услуги. Данная модель состоит из совокупности понятий, необходимых для формального описания процесса оказания любой ИК услуги, и четырех показателей ЭИОР, позволяющих определить его количественные характеристики. В качестве основы для построения модели выбрана теория целеустремленных систем. Данная основа была расширена понятиями, специфичными для ИК услуг. В модели предлагаются следующие показатели ЭИОР: требуемое число реализаций, функция ограниченных ресурсов (ФОР), полезный эффект, коэффициент ЭИОР. Предлагается методика аналитического вычисления ФОР, которая применяется при расчете ФОР для времени активного периода узла сенсорной сети для случаев однотипных и разнотипных пользовательских устройств.

Третья глава посвящена методике расчета предложенных показателей ЭИОР, в первую очередь функции ограниченных ресурсов. Дается описание наиболее универсальной методики расчета ФОР с помощью имитационного моделирования. Приводятся результаты расчета показателей ЭИОР данным методом для различных конфигураций узла сенсорной сети. Показывается, что использование разработанной методики позволяет выбрать конфигурацию, которая на 10% лучше конфигурации, выбранной с помощью широко известного метода анализа иерархий (МАИ), по критерию количества одновременно обслуживаемых источников данных. Кроме того, для применения МАИ необходимо привлечение экспертов, предлагаемая же автором методика основана на результатах измерений.

В четвертой главе рассмотрены вопросы практической применимости предложенных показателей ЭИОР. Автором предлагается методика расчета ФОР, основанная на тензорном анализе сетей, который может использоваться для расче-

та показателей ЭИОР в режиме реального времени. Также исследуются вопросы устойчивости разработанных показателей ЭИОР с точки зрения ошибок в оценке маловероятных рисков. Доказывается, что предлагаемые автором показатели ЭИОР будут давать более устойчивые результаты по сравнению с МАИ.

В пятой главе даются представлены результаты внедрения моделей и методик к различным практическим задачам. Задачи выбраны таким образом, чтобы продемонстрировать возможность их применения на различных уровнях. Показывается, что разработанные модели и методики позволяют при эксплуатации систем, сетей и устройств телекоммуникаций производить оценку ЭИОР в режиме реального времени без необходимости привлечения экспертных суждений, а при внедрении новых ИКТ – сократить количество необходимых экспертных суждений до 75%, тем самым повышая объективность и снижая трудозатраты при проведении оценки ЭИОР.

В приложениях приведены акты внедрения работы.

Глава 1. Обзор проблем и методов оценки эффективности использования ограниченных ресурсов при оказании конвергентных инфокоммуникационных услуг

1.1 Конвергентные инфокоммуникационные (ИК) услуги

Одним из основополагающих направлений развития инфокоммуникационных технологий (ИКТ) в последние десятилетия является конвергенция [2]. Конвергенция в ИКТ сегодня рассматривается как мегатренд, охватывающий множество отраслей промышленности, множество технологий, множество компаний и касающийся почти всех пользователей. Выделяют конвергенцию услуг, конвергенцию сетей, конвергенцию терминалов и конвергенцию различных отраслей инфокоммуникационной индустрии [74]. Конечной целью этих процессов, как и развития ИКТ в целом, является повышение уровня жизни пользователей [74; 87].

С точки зрения пользователя наиболее заметным проявлением конвергенции является активное развитие *конвергентных инфокоммуникационных (ИК) услуг*. Этим термином называют ИК услуги, в которых используются различные виды сетей связи и вещания, медийных носителей (голоса, данных, видео), мобильных и стационарных терминалов [74]. Первоначально под конвергентными ИК услугами понимали лишь объединение традиционных фиксированных и мобильных услуг (телефонии, передачи сообщений и пр.) с выдачей абоненту единого номера и единого счета для оплаты [18]. Такое объединение обеспечивает пользователю большее удобство, единообразие и качество обслуживания, возможность воспользоваться ИК услугой в любое время и в любом месте. Но в последнее время получили распространение такие ИК услуги, которые в принципе были бы невозможны без конвергенции. Приведем несколько примеров.

Интернет Вещей. Начало XXI века ознаменовалось созданием теории и практической реализацией так называемых *всепроникающих сенсорных сетей* (англ. USN — Ubiquitous Sensor Networks). USN представляют собой самоорганизующиеся сети, состоящие из множества беспроводных сенсорных узлов, распреде-

ленных в пространстве и предназначенных для мониторинга и/или управления характеристиками окружающей среды или объектами, расположенными в ней [27]. USN стали одной из основных реализаций концепции *Интернета Вещей* (англ. IoT — Internet of Things), подразумевающей построение сети, в которой число пользователей (устройств, приборов, баз данных и т. д.) будет измеряться единицами и десятками триллионов [7; 28]. Одной из основных характеристик IoT является гетерогенность. IoT дает возможность своим устройствам быть построенными на различных аппаратных, программных платформах и сетях. При этом устройства IoT должны иметь возможность взаимодействовать с иными устройствами (в том числе и IoT) через различные сети связи [27]. Таким образом, в самой основе концепции IoT заложена идея конвергенции.

Примером конвергентной ИК услуги, оказываемой через IoT, является индивидуализированное управление при чрезвычайных ситуациях [7, с. 44–45; 90; 37; 30], где для передачи информации о чрезвычайной ситуации используется как минимум три канала связи: канал беспроводной сенсорной сети для передачи измерений физических величин между датчиками, канал персональной беспроводной сети (например, Bluetooth) для локального взаимодействия между пользователем и датчиками, расположенными поблизости, и центральный канал связи для передачи данных между центром системы и удаленными пользователями. В данной ИК услуге также можно наблюдать конвергенцию терминалов (в качестве терминала может использоваться мобильный телефон, ноутбук или другое беспроводное электронное устройство), конвергенцию отраслей инфокоммуникационной индустрии (передача данных, анализ и обработка данных, создание контента и управление им).

Подробнее конвергентная ИК услуга индивидуализированного управления при чрезвычайных ситуациях будет рассмотрена в параграфе 5.2.

Координатно-временное и навигационное обеспечение. В настоящий момент стремительно развиваются ИК услуги на *координатно-временного и навигационного обеспечения* (КВНО). Для качественного оказания даже базовых ИК услуг КВНО (определения места и времени) требуется интеграция всех комплексов и средств, участвующих в решении задачи КВНО, в единую систему,

комплексное использование всех навигационных технологий [6], что подразумевает конвергенцию. Но на сегодняшний день базовых ИК услуг оказывается уже недостаточно для удовлетворения потребностей пользователей. Текущий, второй этап развития услуг на базе КВНО характеризуется широким использованием ИК среды для доставки необходимой навигационной и вспомогательной информации, созданием новых технологических и бизнес-процессов на базе КВНО, конвергенцией навигационных и ИК услуг [8].

Как и в случае IoT, здесь можно наблюдать все виды конвергенции. Конвергенция терминалов проявляется в интеграции навигационной аппаратуры потребителя в абонентскую аппаратуру, изначально предназначенную для других задач (мобильные телефоны, планшетные компьютеры и т. п.). Конвергенция отраслей инфокоммуникационной индустрии необходима для предоставления таких комплексных ИК услуг, как транспортная навигация, для которой требуется обработка и актуализация электронных карт местности, данных о дорожной обстановке, оптимальных маршрутов движения [8]. Конвергенция сетей требуется для возможности доставки вспомогательных данных, таких как высокоточная *эфемеридно-временная информация* (ЭВИ), поскольку для разных условий приема целесообразным оказывается использование различных каналов доставки. В настоящей работе выбору канала доставки высокоточной ЭВИ посвящен параграф 5.3.

Другие примеры конвергентных ИК услуг приведены в Таблице 1.1.

Как видно из приведенных выше примеров, развитие конвергентных ИК услуг является результатом сразу нескольких процессов конвергенции в области ИКТ. Поскольку дальнейшее усиление конвергенции общепризнанно и не вызывает сомнения, следует ожидать, что в ближайшем будущем доля и значение конвергентных ИК услуг будут постоянно расти.

Таблица 1.1 – Примеры конвергентных ИК услуг

ИК услуга	Признаки конвергенции
Телевидение	Использование цифрового телевизионного канала и IP-каналов; передача дополнительной информации о программах (англ. Electronic Program Guide, EPG)
Аудио- и видеосвязь	Использование мобильных и стационарных терминалов; возможность общения с использованием аудио и видео, передачи моментальных сообщений картинок и других данных
Услуги электронного правительства	Использование мобильных и стационарных терминалов; использование изображений и двоичных файлов для передачи юридических документов
Услуги электронной торговли, в том числе контентом	Использование мобильных и стационарных терминалов, использование разных каналов связи для доставки контента

1.2 Постановка проблемы повышения эффективности использования ограниченных ресурсов (ЭИОР)

Развитие конвергентных ИК услуг, как и любых других ИК услуг, подвержено ряду ограничений. В работе [1] выделяются следующие основные технические ограничения:

- скорость доступа;
- геометрические размеры области предоставления услуги;
- количество пользователей в области предоставления услуги;
- организация взаимодействия человек-система-человек (единая нумерация, доступ к информации и т. п.).

Данным ограничениям соответствуют теоретические и эмпирические законы. Большинство из устанавливаемых законами ограничений являются не фиксированными, а зависящими от некоторых параметров. Примером является широко известная формула Шеннона [73, с. 243–332]:

$$C = \Delta F \log\left(1 + \frac{P_s}{P_n}\right), \quad (1.1)$$

где ΔF — полоса пропускания, C — верхняя граница пропускной способности канала, P_s и P_n — соответственно средние мощности сигнала и аддитивной помехи, имеющей нормальное распределение и равномерный спектр.

Зачастую один или несколько параметров зависят от распределения тех или иных материальных и нематериальных факторов, называемых *ограниченными ресурсами*. В приведенном выше уравнении таким ограниченным ресурсом может являться частотный спектр, от распределения которого зависит величина параметра ΔF . При оказании ИК услуг используются и другие ограниченные ресурсы: время занятия каналов связи, электроэнергия, трудозатраты обслуживающего персонала. Отдельно можно выделить ограниченные ресурсы, затрачиваемые пользователем, например время на получение ИК услуги. Некоторые исследователи в качестве ограниченного ресурса, приобретающего все большую ценность в современном обществе, рассматривают внимание человека, его способность фокусироваться на том или ином информационном объекте [80].

В тех случаях, когда какой-либо ограниченный ресурс может использоваться для оказания различных ИК услуг или для оказания одной и той же ИК услуги различными способами или различными операторами ИК услуг, возникает задача *повышения эффективности использования ограниченных ресурсов* (ЭИОР). Существует два основных подхода к повышению ЭИОР [75]: разработка и внедрение новых технологий и более рациональное распределение ограниченных ресурсов при эксплуатации существующих технологий. Важным условием успешного применения обоих подходов является правильная оценка ЭИОР [75].

Под ЭИОР понимают отношение величины полезного эффекта от *объекта оценки* (сущности, на которую могут быть выделены ограниченные ресурсы: ИК услуга, технология, оператор ИК услуг и т. п.) к величине затраченных ограниченных ресурсов. При этом вопрос о том, каким образом оценивать величины полезного эффекта и затраченных ограниченных ресурсов является принципиальным и обычно вызывающим большие затруднения [11].

Во-первых, каждая ИК услуга имеет собственный полезный эффект, и выражение его в виде числа (операционализация) может осуществляться различными способами. Многие ИК услуги, особенно конвергентные, имеют большое

количество применений, и их влияние на жизнь людей может иметь непрямой характер. Кроме того, зачастую представляет сложность определение самого понятия «полезного эффекта» для ИК услуг [79]. Существует большое количество путей влияния ИК услуг на жизнь людей, отличающихся по интенсивности, охвату, временным рамкам [104]. Необходимо иметь общую шкалу, для того, чтобы можно было сравнивать полезный эффект от различных ИК услуг.

Во-вторых, подсчет затраченных ограниченных ресурсов также может оказаться весьма непростой задачей, особенно если при оказании ИК услуги используется большое количество различных ИКТ. Кроме того, если необходимо учесть ограниченные ресурсы разных типов, их сложение для получения одного числа должно проводиться с учетом их ценности. Но различные ограниченные ресурсы имеют разную ценность для разных ИК услуг, поскольку каждая ИК услуга имеет собственный набор технических ограничений и соответствующих им законов. Ситуация осложняется тем, что эти ограничения могут приобретать и терять актуальность на разных этапах развития ИКТ. В работе [36] приводится пример максимальной пропускной способности канала связи, устанавливаемый теоремой Шеннона, который был недостижим при внедрении проводных цифровых телефонных линий в середине XX века, но оказался чрезвычайно актуальным, когда понадобилось найти в полном объеме способы экономичной передачи информации, защищенной от помех для обеспечения беспроводного доступа.

При всех этих сложностях, задача оценки ЭИОР является чрезвычайно важной, поскольку в ее решении заинтересованы все стороны, которых затрагивают вопросы оказания и использования ИК услуг [79]:

- администрации связи и международные организации, которые могут распределять частотный спектр и другие ограниченные ресурсы;
- организации, занимающиеся проектированием сетей связи и вещания на этапе выбора вариантов построения сети и в дальнейшем при разработке отдельных системотехнических решений [24];
- операторы ИК услуг, которым требуется оценить целесообразность затрат на замену оборудования, обучение персонала и получение необходимых лицензий и разрешений, которые связаны с внедрением новой ИК услуги;

– эксперты и представители общественности, участвующие в гражданском процессе регулирования технической политики, которые должны определить, превышают ли блага, создаваемые посредством ИК услуг, затраты бюджетных средств и экологические последствия, неизбежно возникающие в этой связи.

Учитывая вышеизложенное, в настоящей работе для повышения ЭИОР при оказании конвергентных ИК услуг будут показателями ЭИОР, наиболее подходящие для данных услуг.

1.3 Существующие методики оценки ЭИОР

Подходы к оценке ЭИОР на всех уровнях должны быть взаимоувязаны. Повышения ЭИОР можно достичь, если показатели и методики, применяемые для оценки ЭИОР на нижних уровнях, будут связаны с показателями и методиками на более высоких уровнях по принципу иерархической декомпозиции [70]. Особое значение при этом имеет верхний уровень иерархии, на котором находятся международные организации и администрации связи, регулирующие распределение ограниченных ресурсов. Очень важно, чтобы программы и концепции развития ИКТ на уровне государства или региона учитывали планы по внедрению конвергентных ИК услуг. Примером является описанный в параграфе 5.1 подход к выбору показателей эффективности использования ИКТ в Приднестровской Молдавской Республике. В данной параграфе мы проведем анализ современного состояния проблемы оценки ЭИОР при оказании конвергентных ИК услуг, начав с работы, проделанной международными организациями.

1.3.1 Международные организации, занимающиеся оценкой ЭИОР

В Женевском Плане действий, принятом на первой *Встрече на высшем уровне по вопросам информационного общества* (ВВУИО) (2003 г.), было провозглашено [88]:

«Следует разработать реалистичную международную систему оценки и определения (как качественного, так и количественного) эффективности, используя

сопоставимые статистические показатели и результаты исследований, с тем чтобы вести наблюдение за выполнением задач, достижением целей и контрольных показателей Плана действий, принимая во внимание национальные особенности».

В том же документе были определены основные контрольные показатели развития ИКТ, которые должны приниматься во внимание всеми странами при разработке национальных политик в области ИКТ. Можно выделить следующие основные направления, на которые ориентированы данные контрольные показатели:

- доступ к ИКТ в пределах досягаемости более чем для половины населения планеты с уделением особого внимания жителям деревень и отдаленных населенных пунктов;
- оснащение средствами ИКТ центров здравоохранения и больниц;
- оснащение средствами ИКТ образовательных учреждений, внесение изменений в образовательные программы с тем чтобы включить в них задачи, выдвинутые информационным обществом;
- увеличение доступности услуг электронного правительства;
- развитие контента на всех мировых языках.

Как минимум одно из этих направлений, электронное правительство, напрямую связано с оказанием конвергентных ИК услуг. Внедрение ИКТ в образовательные учреждения, как отмечается в [35], нецелесообразно, если сопровождается развитием соответствующих образовательных конвергентных ИК услуг. То же можно в полной мере отнести и к здравоохранению. По этой причине задача оценки ЭИОР при оказании конвергентных ИК услуг является одной из важнейших частей глобальной задачи оценки развития ИКТ в целом. В связи с этим, имеет смысл проанализировать деятельность организаций, занимающихся решением этой глобальной задачи.

Для достижения целей, поставленных Встречей на высшем уровне, в 2004 г. было создано *Партнерство по измерению ИКТ*, в которое вошел целый ряд международных организаций, включая Организацию экономического сотрудничества и развития (ОЭСР), Международный союз электросвязи (МСЭ), Кон-

ференцию Организации Объединенных Наций (ООН) по торговле и развитию (ЮНКТАД), Центр международного промышленного сотрудничества (ЮНИДО), Организацию Объединенных Наций по вопросам образования, науки и культуры (ЮНЕСКО), статистическую службу Европейского Союза Евростат. Работа Партнерства направлена на создание сопоставимой на международном уровне системы показателей в области ИКТ, которая бы, помимо прочего, могла бы направлять развитие ИКТ в разных странах, чтобы получить максимальную отдачу от ИКТ для всего населения [94]. Партнерство состоит из нескольких рабочих групп, одна из которых, возглавляемая ОЭСР, изучает влияние ИКТ на уровень жизни людей и ставит своей целью анализ социального влияния ИКТ, а также разработку способов оценки этого влияния [104].

Среди членов партнерства особо следует выделить Международный союз электросвязи. Ежегодно МСЭ публикует индекс развития ИКТ (англ. IDI, ICT Development Index) [89] и другие индексы, имеющие целью осветить различные аспекты развития ИКТ. Эффективность работы администрации связи каждой страны оценивается, в первую очередь, при помощи этих индексов. На основании IDI составляется рейтинг, и опыт стран, имеющих высокие позиции в этом рейтинге, объявляется передовым. Как результат проводимой администрациями связи политики, они влияют на деятельность коммерческих компаний и размер инвестиций, выделяемых на развитие тех или иных ИКТ.

1.3.2 Показатели, используемые для оценки ЭИОР в области ИКТ

Далее рассмотрим различные методики оценки ЭИОР, предлагаемые в различных документах, опубликованных Партнерством [31; 82; 89; 94; 103; 104], и другой научно-технической литературе [10]. Начнем рассмотрение с *показателей*, то есть величин, которые могут применяться для оценки ЭИОР непосредственно, без использования каких-либо методов многокритериальной оценки альтернатив.

Для расчета показателей могут применяться следующие источники данных [104]:

- результаты статистических опросов индивидов, домохозяйств, предприятий и других статистических единиц (например, органов власти);

- административные данные, получаемые государственными или международными органами с целью учета: данные об использовании радиочастотного спектра и телекоммуникационного оборудования, подлежащего регистрации, данные бухгалтерского и налогового учета и т. п.

- панельные данные — прослеженные во времени выборки, состоящие из наблюдений одних и тех же показателей в последовательные моменты времени и позволяющие делать выводы о динамике изменений этих показателей.

Классификация показателей эффективности использования ограниченных ресурсов. Рассматривая показатели, можно заметить, что большинство из них однозначно можно отнести к одной из следующих типов [79]:

1. **Технические показатели.** В данную группу входят показатели, связанные с объектами и оборудованием, используемым при оказании ИК услуг. Для каждого класса объектов и оборудования эти показатели свои: для канала связи — скорость передачи данных, временная задержка; для дата-центра — количество хранимой информации, количество подключенных клиентов; для автоматической телефонной станции — число обслуживаемых абонентов, временная задержка. Также часто используют различные показатели, нормированные на величину затрачиваемых ограниченных ресурсов: информационную эффективность (скорость передачи или какой-либо другой параметр по отношению к пропускной способности тракта передачи), энергетическую эффективность (по отношению к мощности сигнала, деленной на спектральную мощность помехи), частотную эффективность (по отношению к ширине полосы частот в линии) [16]. Значения большинства показателей данной группы могут быть измерены непосредственно, для многих остальных существуют хорошо зарекомендовавшие себя методики непрямого измерения.

2. **Показатели ИК услуг.** В показатели данной группы входит количество оказанных ИК услуг того или иного типа и показатели качества ИК услуг, например для услуг голосовой связи — временная задержка, джиттер; для услуг передачи данных — скорость передачи данных; общие для всех типов ИК услуг

— среднее время оказания услуги, наработка отказ, среднее время восстановления обслуживания в случае возникновения неполадок. Как можно увидеть, некоторые показатели (например, временная задержка) относятся и к техническим показателям, и к показателям ИК услуг; разница заключается в том, что в первом случае они описывают работу отдельных объектов, участвующих в процессе предоставления ИК услуги, а в последнем — характеризуют ИК услугу как результат взаимодействия всех этих объектов в совокупности и, таким образом, определяют качество обслуживания, предоставленного пользователю.

3. Показатели уровня жизни. Показатели данной группы характеризуют аспекты общественного пользы от ИК услуг. Сюда входит широкий класс метрик, как непосредственно связанных с инфокоммуникациями, так и характеризующих достижение целей по повышению уровня жизни людей: индекс развития ИКТ МСЭ, показатели достижения «целей тысячелетия», сформулированные ООН [38], монетарные индикаторы развития экономики, такие как валовый внутренний продукт (ВВП), различные метрики субъективного благополучия, основанные на методах выборочного обследования повседневного опыта [72].

Пример 1. Рекомендация МСЭ-Р SM.1046 [99]. Предоставляет собой технический показатель для различных систем радиосвязи (подвижных, межпунктовых и пр.). В качестве меры ограниченных ресурсов принимается коэффициент использования спектра:

$$U = BST, \quad (1.2)$$

где B — ширина полосы частот, S — геометрическое пространство (обычно площадь) и T — время. Мера полезного эффекта рассчитывается отдельно для каждого типа радиосистем. Например, для систем телевизионного вещания она определяется как произведение числа абонентов системы на среднее количество ТВ программ, которые могут быть ими приняты; для сухопутных подвижных радиосистем — как произведение относительного размера зоны обслуживания на общий трафик, созданный в ее пределах.

Пример 2. Показатель качества государственных услуг [14]. Является примером показателя ИК услуг. Для оценки значения данного показателя при-

меняется лингвистическая шкала, позволяющая перевести субъективные суждения в численный коэффициент: высокое качество соответствует коэффициенту 0,91–1,0, качество выше среднего — 0,75–0,9, среднее качество — 0,4–0,74, плохое качество — 0,1–0,39.

1.3.3 Преимущества и недостатки применения различных типов показателей

Для обоснованного применения технических показателей для оценки ЭИОР при оказании ИК услуг должно быть сделано предположение, что полезный эффект от ИКТ будет тем больше, чем более интенсивно они используются, то есть чем больше передается трафика, чем больше абонентов находятся в зоне покрытия сетей связи и вещания и т. п. Однако далеко не всегда высокие технические показатели означают высокий полезный эффект. Например, известно, что интернет-трафик характеризуется служебной избыточностью на уровне 25–30%, возникающей в том числе из-за неоптимальной работы в беспроводных сетях передачи данных протоколов прикладного уровня [19; 20]. Кроме служебной избыточности, существует еще избыточность пользовательских данных, происходящая из-за недостаточной адаптации контента под задачи пользователей [19]. Оптимизация трафика хотя и сопровождается уменьшением значения соответствующего технического показателя, но имеет положительный эффект для пользователя.

Кроме того, с развитием конвергентных ИК услуг теряется связь между техническими параметрами и количеством оказанных ИК услуг. Поскольку могут использоваться различные каналы связи и медийные носители, без дополнительной контекстной информации невозможно определить, какое количество абонентов воспользовалось ИК услугой, даже если известна величина переданного трафика, размер зоны обслуживания отдельных систем и подобные сведения.

Альтернативой техническим показателям являются показатели уровня жизни, имеющие целью оценить, какую пользу для конечных потребителей приносят ИК услуги [29]. Для этого используются различные инструменты, такие как социо-

логических опросы и анализ экспертных суждений. Для перевода субъективных мнений в числа могут применяться лингвистические шкалы (см., например, [14]).

Исследователи, анализирующие показатели уровня жизни, отмечают, что они по темпам роста существенно отстают от технических показателей [29; 95]. Помимо того, что внедрение ИКТ не всегда приносит ожидаемый результат, часто оно сопровождается возникновением новых проблем, например, киберпреступности. Эти все факторы приводят к тому, что применение показателей уровня жизни дает гораздо более сдержанную оценку развитию ИКТ.

Таким образом, применение двух групп показателей может дать несогласованные результаты. Преимуществом показателей уровня жизни является их непосредственная связь с полезным эффектом, которых ожидается от использования ИКТ, в то время как для технических показателей наличие подобной связи еще должно быть доказано. С другой стороны, технические показатели основываются на данных, доступных для непосредственного измерения. Это создает сразу несколько преимуществ. Во-первых, получение значений измерений обычно требует гораздо меньше усилий по сравнению с проведением социологического исследования или полноценным экспертным анализом. Во-вторых, проведение иерархической декомпозиции существенно проще. Благодаря использованию систем автоматизированных измерений можно достичь как большого охвата, так и высокой степени детализации проводимых измерений. В результате, появляется возможность не просто определять значение показателей развития, но также и выявлять причины, препятствующие достижению желаемых результатов.

Для показателей уровня жизни провести иерархическую декомпозицию часто оказывается невозможно, что создает сложности в установлении причинно-следственных связей между улучшением показателей и развитием ИКТ. Поскольку показатели уровня жизни характеризуют отдельные срезы общества в целом, они не позволяют получить ответ на вопрос, в какой мере изменение того или иного показателя связано с влиянием именно ИКТ, а не прочих факторов, от которых зависит уровень жизни: состояния транспортной системы, промышленности, образования, и т. д. Необходимо также учитывать, что ИКТ могут

существенно влиять на людей даже без их ведома вследствие трансформации различных социально важных процессов: доставки и хранения товаров, торговли, медицины и других. Все эти аспекты очень сложно поддаются учету при проведении опросов.

Группа показателей ИК услуг занимает промежуточное положение между техническими и показателями уровня жизни. Связь между показателями ИК услуг и техническими показателями становится весьма прозрачной, как только зафиксированы технические условия предоставления ИК услуг. На практике этой цели соглашения об уровне услуг (англ. SLA, Service Level Agreement), заключаемые между пользователем оператором ИК услуги. Как только все необходимые условия сформулированы, возможно получение значений показателей количества и качества ИК услуг, например, при помощи систем эксплуатационной поддержки (англ. OSS, Operations Support Systems). Показатели ИК услуг могут быть как измеряться непосредственно, так и рассчитываться на основе значений технических показателей. В последнем случае необходимо наличие модели конвергентной ИК услуги, позволяющей проводить такие расчеты [69].

Связь между показателями ИК услуг и показателями уровня жизни изучена недостаточно [79]. При анализе целей и результатов оказания ИК услуг населению вопросы изменения качества жизни населения в лучшем случае рассматриваются лишь качественно. Для того, чтобы установить эту связь, необходима модель конвергентной ИК услуги, дающая возможность выразить полезный эффект от ее оказания для каждого пользователя. В главе 2 настоящей работе такая модель будет предложена.

Преимущества и недостатки использования показателей как методики оценки ЭИОР. Преимуществом показателей является то, что они основываются на объективных данных и не требуют какого-либо экспертного участия для своего применения. Недостатки и ограничения их также весьма очевидны и зачастую обсуждаются в тех же документах, в которых данные показатели определяются.

Так, в Рекомендации МСЭ-Р SM.1046 отмечается недопустимость применения коэффициента использования спектра для радиосистем различных типов, поскольку мера полезного эффекта в нем связана со свойствами конкретных ра-

диосистем, каждая из которых имеет свои специфические черты и особенности и поэтому по-своему уникальна [21; 22]. Это не позволяет использовать критерий для конвергентных ИК услуг, при оказании которых задействуется целое множество различных радиосистем.

Другим ограничением является невозможность учета всех факторов, характеризующих объект оценки с точки зрения полезного эффекта. Например, если качестве простого показателя выбрана скорость передачи данных, за рамками анализа остаются такие свойства как надежность, масштабируемость, защищенность, его эксплуатационные особенности, содержание передаваемых данных. Например, большой объем трафика может быть связан с некорректным выбором протоколов передачи данных различных уровней, частых повторов передачи из-за возникающих ошибок и т. п. Между тем, в конвергентных ИК услугах, характеризующихся большей сложностью по сравнению с традиционным, данные свойства выходят на первый план.

Указанных недостатков нельзя избежать, применяя какой-то один показатель. Вместо этого необходимо применять несколько показателей, в совокупности позволяющих всесторонне описать объект оценки, после чего сформировать агрегированный критерий ЭИОР [15]. Эти методы будут рассмотрены ниже.

1.3.4 Методы многокритериальной оценки альтернатив

Описание. Методы многокритериальной оценки альтернатив позволяют получить из нескольких показателей одно число — *агрегированный показатель*. Показатели, являющиеся частью агрегированного показателя называются *критериями*. В общем виде метод многокритериальной оценки можно представить как функцию $y(x)$ от значений частных параметров $(f_1(x), f_2(x), \dots, f_n(x))$ объекта оценки x [16]:

$$y(x) = y(f_1(x), f_2(x), \dots, f_n(x)). \quad (1.3)$$

Не всегда, однако, функцию $y(x)$ представляют в явном виде, часто ее значение вычисляется при помощи алгоритма, как, например, в методе анализа иерархий, рассмотренном ниже.

Основным свойством, характеризующим любой метод многокритериальной оценки альтернатив, является влияние отдельных критериев на агрегированный показатель. Существуют линейные методы, предполагающие, что эффективность зависит только от отношения величин критериев, и нелинейные, в которых влияние того или иного критерия на агрегированный показатель меняется при пропорциональном увеличении значений всех критериев. Также можно разделить методы многокритериальной оценки альтернатив по источнику получения информации, в зависимости от того, необходимо ли привлечение экспертов или же достаточно одних результатов измерений.

Пример 1. Метод взвешенных сумм. В самом простом методе многокритериальной оценки альтернатив, методе взвешенных сумм, функция $y(x)$ линейна, и агрегированный показатель j -го объекта оценки k_j рассчитывается как

$$k_j = \sum_i u_{ij} w_{ij}, \quad (1.4)$$

где u_{ij} — значение i -го критерия, w_{ij} — его вес («важность»), определенный экспертами.

Метод взвешенных сумм нередко используется на практике. Примером его использования является подсчет Индекса развития ИКТ МСЭ [89] по следующей формуле:

$$k_j = \sum_i \frac{u_{ij}}{u_{0i}} w_{ij}, \quad (1.5)$$

где u_{0i} — опорное значение i -го критерия, представляющее собой желаемое значение данного критерия, остальные обозначения те же, что в (1.4).

Однако, область применения метода взвешенных сумм весьма ограничена, поскольку он требует выполнения ряда условий. Во-первых, агрегированный показатель должен линейно зависеть от значений критериев. Данное условие в большинстве случаев выполняется лишь для узкого диапазона изменений критериев и только если шкала значений критериев является шкалой отношений

[41]. Во-вторых, критерии должны быть независимы между собой, в противном случае, если несколько критериев зависят от одного скрытого параметра, этот параметр учитывается в оценке несколько раз, что приведет к неверному результату. Также экспертные мнения, выраженные в форме оценок весов, не позволяют провести иерархическую декомпозицию.

В совокупности указанные недостатки позволяют использовать метод взвешенных сумм лишь для простых задач, в которых критерии независимы, объекты оценки сходны друг с другом и по всем критериям отличаются друг от друга на не слишком большую величину, важность критериев одинакова для всех объектов оценки и легко может быть оценена экспертами. При оказании конвергентных ИК услуг, характеризующихся высокой сложностью и разнообразием, такие условия возникают редко, поэтому применение метода взвешенных сумм может применяться весьма ограниченно.

Пример 2. Data Envelopment Analysis (DEA). Одним из методов, не требующих для своего применения экспертных мнений, является Data Envelopment Analysis [84].

В его основе лежит определение эффективности по Парето, согласно которому один объект оценки эффективно использует ограниченные ресурсы, если не существует других объектов оценки, потребляющих такое же количество ограниченных ресурсов и превосходящих его при этом по какому-либо критерию. Подробно о применении DEA для оценки ЭИОР было написано в работах [32; 56; 68].

Так как определение ЭИОР в DEA основывается не на мнениях экспертов, а на достаточно общем законе Парето, при его применении не используется никакие данные, кроме значений критериев и величин затраченных ограниченных ресурсов.

Однако другие недостатки, присущие методу взвешенных сумм, а именно требование линейности и независимости критериев, характерны и для DEA [68]. Также DEA не дает полного упорядочения объектов оценки, он лишь позволяет выявить те из них, которые будут заведомо неэффективны, какие бы веса для критериев ни были выбраны. В сложных случаях (тем не менее, вполне

возможных, когда проводится оценка ЭИОР при оказании конвергентных ИК услуг), если каждый объект оценки превосходит остальные по одним критериям и уступает по остальным, применение DEA может не дать никаких результатов. Поэтому данный метод не может использоваться в качестве единственного метода многокритериальной оценки альтернатив.

Пример 3. Метод анализа иерархий. Различными группами исследователей были созданы методы, призванные устранить ограничения метода взвешенных сумм, такие как метод анализа иерархий [42], Elimination and Choice Expressing Reality (ELECTRE) [96], Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation (PROMETHEE) [78].

Рассмотрим один из них, МАИ, как получивший наибольшее распространение на практике [23]. Данный метод связывает набор критериев, полезный эффект и объекты оценки в единую иерархическую структуру. Полезный эффект (*цель* в терминологии МАИ) является верхним узлом иерархии, с ним связываются критерии, которые также могут быть выстроены в виде иерархии, а на нижнем уровне находятся *альтернативы*, то есть объекты оценки. После этого с каждым элементом иерархии связывается *приоритет* — число от нуля до единицы, показывающее степень значимости узла иерархии. Приоритеты рассчитываются сверху вниз: приоритет цели принимается равным единице, для вычисления приоритетов последующих уровней либо привлекаются мнения экспертов, выраженные в виде числа, показывающего относительную важность какой-либо пары узлов иерархии, либо, в отсутствие таковых, приоритеты распределяются равномерно между всеми узлами иерархии. Дойдя до верхнего уровня, получают приоритеты альтернатив, которые и являются мерой эффективности соответствующих объектов оценки.

Преимуществом такого подхода является простота формализации и учета экспертных суждений о степени влияния того или иного критерия на полезный эффект, а также о взаимном влиянии критериев друг на друга. Также повышается точность определения весов параметров. Это происходит, потому что учитывается психологический эффект, согласно которому человеку (эксперту) проще срав-

нить предпочтительность двух объектов оценки (например, определить, какой из двух критериев важнее и в какой мере), чем давать численную оценку их весам.

Таким образом, МАИ (а также ELECTRE, PROMETHEE и другие подобные методы) позволяют решать многокритериальную задачу, эффективно используя экспертные мнения. Однако для конвергентных ИК услуг применение этих методов на практике будет сопровождаться серьезными сложностями [32]. Конкретные значения приоритетов во многом зависят от контекста: текущего уровня развития технологий, набора оказываемых ИК услуг, множества имеющихся альтернатив и т. п. Результаты оценки ЭИОР для одного случая неприменимы для другого, если контекст сильно отличается. Но одним из характерных преимуществ конвергентных ИК услуг перед традиционными как раз является то, что абоненты могут воспользоваться ими в любое время и в любом месте [18], то есть контекст существенно расширяется. Следовательно, потребуется получение очень большого количества экспертных суждений, что неизбежно скажется на качестве оценки и, кроме того, будет сопровождаться значительными трудозатратами.

Еще одним недостатком, относящимся к МАИ, является некорректный учет рисков. Различные риски: возникновение неблагоприятных внешних условий, выход из строя оборудования, ошибки обслуживающего персонала и другие внештатные ситуации — чаще всего приводят к существенному увеличению необходимых ограниченных ресурсов. В связи с этим выходят на первый план такие связанные с рисками показатели, как высокая доступность и катастрофозащищенность [24; 44]. В МАИ риски оцениваются, как и все другие величины, при помощи лингвистической шкалы, например «низкий риск», «высокий риск». Как показано в работе [98], такой подход, не позволяющий учесть распределение вероятностей конкретного риска, приводит к существенным ошибкам. Особенно это касается маловероятных рисков, вероятностные законы возникновения которых, как правило, изучены наиболее плохо [102]. В параграфе 4.2 будет показано, что ранжирование альтернатив, получаемое в результате применения МАИ, неустойчиво по отношению к ошибкам в определении маловероятных рисков.

1.4 Требования к показателям ЭИОР при оказании конвергентных ИК услуг

Как показал проведенный анализ, для оценки ЭИОР при оказании конвергентных ИК услуг существующие показатели применяться не могут. В то же время, рассмотренные методы многокритериального анализа, не специализированные для оценки ЭИОР при оказании конвергентных ИК услуг, также имеют ряд существенных ограничений. Это означает, что требуется разработка специальных показателей ЭИОР которые были бы лишены этих ограничений. Данные показатели должны учитывать особенности конвергентных ИК услуг, их высокую сложность и разнообразие. Можно сформулировать следующие требования, которым они должны удовлетворять [10]:

1. **Применимость на всех уровнях.** Должен быть обеспечен единый подход к оценке ЭИОР и на уровне операторов ИК услуг, перед которыми стоит необходимость оценить ЭИОР оказания той или иной ИК услуги или конкретного технического способа ее оказания, так и на уровне администраций связи при распределении ограниченных ресурсов. Желательно, чтобы показатели, применяемые для оценки ЭИОР на нижних уровнях, были связаны с показателями на более высоких уровнях по принципу иерархической декомпозиции.

2. **Многокритериальность.** Из-за большого разнообразия конвергентных ИК услуг невозможно предложить какой-то один показатель, который подходил бы для всех возникающих задач оценки ЭИОР. В каждой конкретной задаче критерии должны конструироваться таким образом, чтобы быть адекватными реальности [15]. Должна быть предложена методика для выбора показателей ЭИОР для конкретной задачи, для количественного определения значений этих показателей на основании результатов измерений, а также для расчета агрегированного показателя.

3. **Связь с качеством инфокоммуникационных услуг.** Связь критериев с качеством ИК услуг означает что, с одной стороны, изменения величин разработанных критериев должны обязательно сопровождаться изменениями, заметными для пользователя. Желательно, чтобы эта связь была линейной, то есть чтобы

изменение значения критерия на одну и ту же величину давало бы приблизительно равнозначное изменение качества жизни как при малых, так и при больших значениях критериев. Это позволит значительно упростить способ сравнения объектов оценки на основании разработанных критериев.

4. **Применимость для конвергентных и традиционных ИК услуг.** Многие конвергентные ИК услуги предлагаются в качестве замены традиционным фиксированным и мобильным ИК услугам. Для того, чтобы оценить возможность такой замены, конвергентные ИК услуги должны рассматриваться как частный случай ИК услуг вообще, и должны быть обеспечена возможность рассмотрения в качестве объектов оценки ЭИОР традиционные ИК услуги.

5. **Отсутствие необходимости или минимальная необходимость в экспертных суждениях.** Исходными данными для расчета значений критериев должны быть административные данные, статистические данные либо результаты экспериментов [65]. Привлечение экспертов для формирования исходных данных нежелательно поскольку это может снизить общность и объективность показателей ЭИОР.

6. **Возможность учета рисков.** Риски являются важными факторами, определяющими ЭИОР. При оценке ЭИОР не следует полагаться на лингвистические шкалы при определении рисков, а должна учитывать распределение вероятностей каждого риска. Кроме того, должна быть обеспечена устойчивость по отношению к ошибкам в определении вероятностей маловероятных рисков.

1.5 Выводы по главе 1

1. Установлено, что важным условием повышения эффективности использования ограниченных ресурсов (ЭИОР) при оказании конвергентных ИК услуг является наличие показателей ЭИОР, взаимоувязанных на разных уровнях.

2. Установлено, что показатели ЭИОР, используемые в настоящее время в области инфокоммуникационных технологий (ИКТ), не применимы для оценки ЭИОР при оказании конвергентных ИК услуг, поскольку использование различных видов сетей связи и вещания, медийных носителей, терминалов требует

рассмотрения объектов оценки сразу по целому множеству критериев. Необходимо применять несколько показателей, в совокупности позволяющих всесторонне описать объект оценки, после чего сформировать агрегированный критерий ЭИОР. При этом наиболее распространенные методы многокритериального анализа, не специализированные для оценки ЭИОР при оказании конвергентных ИК услуг, также имеют ряд существенных ограничений. По этой причине требуется разработка специальных моделей и методик для определения показателей ЭИОР, учитывающей особенности конвергентных ИК услуг, их высокую сложность и разнообразие.

3. Сформулированы требования, которым должны удовлетворять показатели ЭИОР при оказании конвергентных ИК услуг: многокритериальность; применимость на всех уровнях; связь технических показателей и показателей качества ИК услуг; применимость для конвергентных и традиционных ИК услуг; отсутствие необходимости или минимальная необходимость в экспертных суждениях; возможность учета рисков.

Глава 2. Модель конвергентной инфокоммуникационной услуги

2.1 Обоснование необходимости разработки модели конвергентной ИК услуги

Как было установлено в параграфе 1.4, для выработки показателей эффективности использования ограниченных ресурсов (ЭИОР), которые были бы применимы для различных конвергентных инфокоммуникационных (ИК) услуг, целесообразно использовать какую-либо модель конвергентной ИК услуги, которая определяла бы совокупность понятий, необходимых для формального описания процесса оказания ИК услуги, а также его количественные характеристики. Исходя из требований, сформулированных в параграфе 1.4, такая модель должна быть также применима и для традиционных ИК услуг.

В настоящее время в области ИКТ широкое распространение получили различные методологии моделирования [43]. Их многообразие обусловлено эволюцией развития ИК услуг и большим количеством решаемых задач [45]. Среди наиболее известных методологий следует выделить Structured Analysis and Design Technique (SADT), Integrated DEFinition (IDEF), Architecture of Integrated Information Systems (ARIS), Business Process Modeling Language (BPML) и Business Process Modeling Notation (BPMN).

Применение для оценки ЭИОР какой-либо из этих методологий имеет свои преимущества и недостатки. С одной стороны, преимуществом является возможность применения готового языка формального описания, имеющего свой синтаксис и семантику, который в той или иной степени уже известен специалистам, работающим в области ИКТ. С другой стороны, помимо языка моделирования, для определения ЭИОР необходима система универсальных количественных характеристик. Некоторые методологии, например, SADT или IDEF0, вообще не предлагают количественных характеристик для описываемых процессов, другие же, напротив, оставляют возможность использования произвольного количества переменных для детального описания каждого структурного элемента модели.

Для проведения оценки ЭИОР необходим промежуточный вариант, заключающийся в наличии небольшого количества переменных.

Из этих соображений автором было принято решение о разработке модели конвергентной ИК услуги [59; 70]. В качестве основы для построения модели выбрана теория целеустремленных систем, созданная Р. Акоффом и Ф. Эмери в известной книге [3]. Благодаря тому, что модель ориентирована на решение лишь одной проблемы — оценки ЭИОР — она существенно проще большинства имеющихся методологий моделирования. В ней вводится лишь четыре категории показателей ЭИОР, имеющих высокую универсальность и позволяющих учесть всю необходимую для проведения ЭИОР информацию об объектах оценки.

Также в модели используются идеи теории типовых процессов [9; 46; 47; 49–52]. Типовой процесс — регулярно воспроизводимый, прогнозируемый, целенаправленный процесс, связанный с поддержанием жизнедеятельности какой-либо системы. Типовой процесс не ограничивается каким-то одним лицом или организацией, а охватывает взаимодействие всех объектов в некоторой институциональной структуре. Применение подобного подхода особенно оправдано для конвергентных ИК услуг, полезный эффект от которых в полной мере может быть оценен, только если рассматривать их в контексте всей жизнедеятельности общества и его отдельных членов.

2.2 Понятия модели конвергентной ИК услуги

2.2.1 Понятия теории целеустремленных систем

В данном подпараграфе будут приведены некоторые понятия из работы [3], посвященной теории целеустремленных систем. В дальнейшем эти понятия будут использованы в разрабатываемой автором модели.

Одним из центральных объектов изучения теории целеустремленных систем является *целеустремленное состояние*. Данное состояние складывается из четырех компонентов:

1. *Субъект*, проявляющий выбор (*A*).

2. *Окружение выбора* (S). В окружение выбора входят элементы, не являющиеся частью субъекта, такие что изменение в любом из них может стать причиной или продуцировать изменение в состоянии A .

3. Доступные *способы действий* (СД). Обозначаются как D_k , $k = \overline{1, \dots, K}$.

4. Возможные при таком окружении *результаты*. Обозначаются как O_q , $q = \overline{1, \dots, Q}$.

Связи между этими компонентами отражены в трех типах метрик, являющихся параметрами целеустремленного состояния:

1. *Вероятность выбора СД* π_k : вероятность того, что субъект выберет СД D_k в окружении выбора S : $\pi_k = \mathbb{P}(D_k|A, S)$.

2. *Эффективность СД* β_{kq} : вероятность того, что некоторый СД D_k будет продуцировать определенный результат O_q в определенном окружении S , если данный субъект выберет именно его: $\beta_{kq} = \mathbb{P}(O_q|A, D_k, S)$.

3. *Удельная ценность* V_q результата O_q для субъекта. Теория целеустремленных систем не определяет конкретной меры для данной величины. Она предполагает, что каждый результат обладает некоторой *полезностью* для субъекта v_q , которая может выражаться в любых единицах. Полезность преобразуется в удельную ценность следующим образом. Если все или некоторые значения v_q отрицательны, к каждому v_q прибавляется число $|v_{min}|$, чтобы наименьшее значение поднялось до нуля. После этого производится нормировка величин полезности: $V_q = \frac{v_q}{\sum_{q'=1}^Q v_{q'}}$. Таким образом, величина удельной полезности находится в пределах от нуля до единицы.

Целеустремленное состояние определяется как состояние выбора, при котором:

– существует по крайней мере один результат O_1 , у которого удельная ценность отличается от удельной ценности другого результата O_2 ($V_1 \neq V_2$), при этом O_1 и O_2 являются взаимоисключающими;

– для A существует по меньшей мере два СД D_1 и D_2 , которые субъект может выбрать ($\pi_1 > 0$ и $\pi_2 > 0$);

– Эффективности СД D_1 и D_2 таковы, что

$$\sum_q \beta_{1q} V_q \neq \sum_q \beta_{2q} V_q. \quad (2.1)$$

2.2.2 ИК услуга и связанные понятия

Теперь предложим расширение теории целеустремленных систем, в котором сформулируем новые понятия, относящиеся к ИК услугам. *Пользователем* ИК услуги будем называть субъекта A в целеустремленном состоянии, если это состояние характеризуется следующими отличительными особенностями.

Во-первых, перед субъектом A стоит некоторая *пользовательская задача*. В теории целеустремленных систем *задачей* субъекта A для некоторого множества окружений выбора называется последний результат O_M из множества доступных результатов $(O_0, O_1, O_2, \dots, O_M)$, упорядоченных так, что $V_0 < V_1 < V_2 < \dots < V_M$ для A , причем при достижении определенного результата O_m ($m < M$) вероятность достижения O_{m+1} возрастает. Отдельные результаты O_m (кроме O_0 , начального состояния) мы будем называть *подзадачами*. *Реализацией* пользовательской задачи или m -й подзадачи будем называть любую попытку достижения субъектом результата O_M или O_m соответственно. *Решением* или *успешной реализацией* пользовательской задачи или подзадачи будем называть те реализации, при которых желаемый результат был получен.

Пользовательская задача характеризуется несколькими отличительными особенностями. Во-первых, с целью упрощения накладываются ограничения на возможные результаты. Если в общем случае целеустремленного состояния различные результаты могут иметь произвольные значения полезности, то при попытке решения подзадачи возможны результаты лишь двух типов: «успех» и «неудача». Все результаты, относящиеся к одному типу, имеют одинаковую полезность: успех в m -й подзадаче имеет удельную ценность V_m , а удельная ценность неудачи равна нулю.

Примерами пользовательских задач являются выбор маршрута движения автомобиля в незнакомом городе, спасение людей в случае пожара, проведение

переговоров между партнерами, находящимися в разных городах, получение гражданином нового паспорта по достижению определенного возраста. Подзадачи могут включать в себя передачу информационных сообщений, определение местоположения, измерение тех или иных физических параметров, проверку электронной цифровой подписи, оцифровку изображений и т. п.

Во-вторых, помимо субъекта *A* рассматривается еще одна система — *оператор услуги*. Оператором услуги здесь может являться как другой субъект, так и нецелеустремленная машинная система. Собственно *услугой* называется процесс, при котором оператор услуги по поручению пользователя выполняет за пользователя некоторые подзадачи [68]. *ИК услуга* — любая услуга по передаче, обработке и хранению информации. Пользователь может иметь выбор между получением услуги и самостоятельной реализацией подзадачи, а также между несколькими операторами услуг. Кроме того, в конвергентных ИК услугах оператор и пользователь имеют возможность выбора из нескольких СД при реализации подзадач. Например, водитель может ехать, следуя рекомендациям навигатора, может загрузить карту местности и составить маршрут самостоятельно или двигаться, ориентируясь лишь на дорожные указатели. Процесс выбора пользователем или оператором услуги конкретного СД при решении подзадачи будем называть *управлением реализацией*.

В-третьих, все пользовательские задачи, рассматриваемые в модели, характеризуются повторяемостью [46]. Это означает, что потенциально может возникнуть большое число реализаций пользовательской задачи, в которых имеются один и тот же набор подзадач и возможных СД. Окружение выбора может меняться от реализации к реализации или быть одним и тем же. Могут рассматриваться как последовательности реализаций, осуществляемых одним субъектом в разные моменты времени (например, последовательность внештатных ситуаций на объекте, которые должны обнаруживаться сенсорной сетью), так и реализации, осуществляемые разными субъектами в произвольные моменты времени (последовательность запросов к серверу последовательность людей при эвакуации и т. п.).

В-четвертых, имеется еще один субъект — *лицо, принимающее решение* (ЛПР). ЛПР может совпадать с оператором услуги или пользователем, либо быть государственным регулятором, международной организацией и т. п. ЛПР проводит оценку ЭИОР и затем использует результаты оценки для отбора операторов ИК услуги, используемых технологий, сетей связи и вещания, медийных носителей, различных техническими параметров оказания ИК услуги — иными словами, используемых СД. Отбор может проводиться либо путем распределения ограниченных ресурсов, путем явного определения набора отобранных СД или путем наложения запрета на отдельные СД. Возможные множества СД, которые могут быть отобраны ЛПР, будем называть *альтернативами*. Деятельность ЛПР по отбору используемых СД будем называть *администрированием услуги*. При каждой реализации ИК услуги пользователь и оператор услуги, как целеустремленные системы, могут осуществлять выбор конкретного СД из множества, которое было отобрано ЛПР. Факторы, влияющие на выбор конкретного СД при решении подзадачи, будут рассмотрены ниже.

В-пятых, рассматриваются ограниченные ресурсы различных типов: частотный спектр, каналы связи, вычислительные машины, обслуживающий персонал и т. п. Одним из часто встречающихся типов ограниченных ресурсов является время, имеющееся у пользователя. Число типов ограниченных ресурсов обозначим как N . *Выделенными ограниченными ресурсами* будем называть N -мерный вектор θ , компонентами которого являются величины ограниченных ресурсов разных типов, которыми пользователь и оператор услуги могут располагать при реализации той или иной подзадачи. *Необходимыми ограниченными ресурсами* назовем N -мерный вектор ξ с компонентами, равными минимальному количеству выделенных ограниченных ресурсов, достаточных для реализации подзадачи.

Как необходимые, так и выделенные ограниченные ресурсы могут являться случайной величиной, зависящей от реализации. К примеру, от реализации к реализации может меняться длина передаваемого информационного сообщения и количество памяти в очереди, доступной для хранения этого сообщения.

Одним из типов ограниченных ресурсов будем считать риск неуспешной реализации. Для определенности будем считать, что его порядковый номер h равен единице. Выделенный ограниченный ресурс для него равно примем равным вероятности неуспешной реализации в случае, если всех остальных ограниченных ресурсов будет достаточно, а необходимый ограниченный ресурс — равный случайной величине, равномерно распределенной от 0 до 1.

Тогда вероятность α того, что реализация будет успешной, равна вероятности того, что ни одна из компонент ξ не превысит соответствующую компоненту θ :

$$\alpha = \mathbb{P}(\xi_1 \geq \theta_1 \cap \bigcap_{h=2}^H \xi_h \leq \theta_h). \quad (2.2)$$

Если хотя бы одного типа ограниченных ресурсов оказывается недостаточно, реализация признается неудачной. При этом либо реализация вообще не выполняется, либо ЛПР выделяет дополнительные ресурсы. Обобщая, можно сказать, что в любом случае выделяется какое-то количество $\Delta\xi_h$ ограниченного ресурса определенного типа (с порядковым номером h), и если реализация не выполняется, то таким ресурсом является риск неуспешной реализации.

Приведем пример. Для этого рассмотрим некий узел сенсорной сети, изображенный на Рисунке 2.1, к которому мы будем обращаться и далее при изложении результатов работы. Узел состоит из приемопередатчика, микроконтроллера и подключенных к нему сенсоров, измеряющих физические величины, и шлюзов, передающих данные из других сетей. Все элементы подключены к одному источнику питания. На вход приемопередатчика поступают сообщения от нескольких источников данных: сенсоров и объектов, подключенных к шлюзам. В общем случае сообщения поступают в случайные моменты времени и имеют случайную длину. Сообщение, поступившее на вход приемопередатчика, передается по каналу связи, но если в этот момент приемопередатчик уж занят, сообщение ставится в очередь. Сообщения передаются по одному, разбивка на пакеты не производится. Дисциплина обслуживания в очереди в порядке поступления (англ. first-in first-out, FIFO). При передаче сообщения могут возникать ошибки, однако вероятность их мала, и повторная передача сообщения в случае ошибки

не предусматривается. С целью экономии энергии большую часть времени сенсорный узел находится в спящем режиме, периодически «просыпаясь». Время нахождения в активном режиме ограничено, за это время сенсорный узел должен успеть опросить все источники данных и передать сообщения от каждого из них. Таким образом, узел можно рассматривать как систему массового обслуживания (СМО) типа G/G/1 с ожиданием, ограниченным длиной очереди и временем обслуживания.

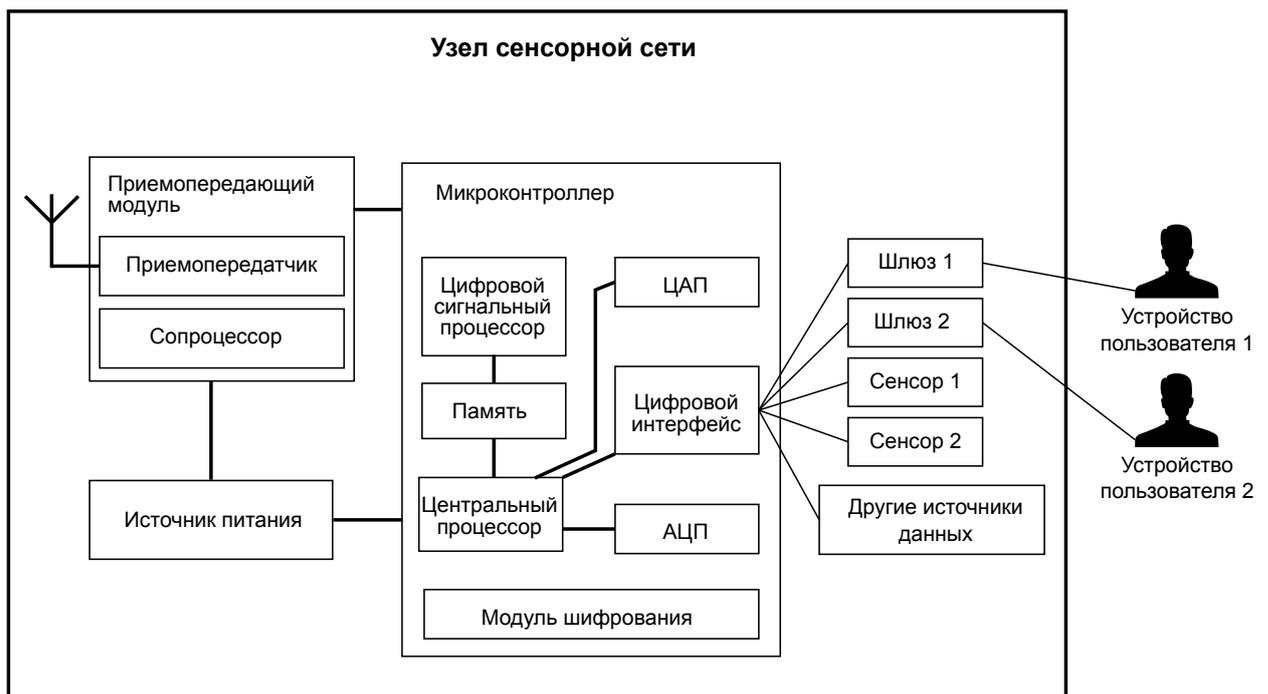


Рисунок 2.1 — Схема узла сенсорной сети

Ограниченными ресурсами в такой системе являются пропускная способность канала, объем памяти микроконтроллера для очереди, время нахождения в активном режиме (от него зависит энергопотребление), а также, как было предложено, риск неуспешной реализации. Выделенные ограниченные ресурсы для такой системы — вектор θ с компонентами $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4$, где θ_1 — вероятность ошибки при передаче сообщения, θ_2 — максимальная пропускная способность канала в бит/с, θ_3 — размер очереди в байтах, θ_4 — время нахождения в активном режиме в секундах. Реализация признается неуспешной, если число передач пакета оказалось недостаточным для восстановления пакета без ошибок, либо пакет был отброшен на входе системы из-за недостатка свободной памяти в очереди, либо суммарное время ожидания в очереди и передачи пакета оказалось

больше времени жизни. Необходимые ограниченные ресурсы — вектор ξ с компонентами $\xi_1, \xi_2, \xi_3, \xi_4$, где ξ_1 — случайное число от 0 до 1, ξ_2 — размер сообщения в битах, деленный на время, выделяемое на передачу этого сообщения, ξ_3 — размер сообщения в байтах, ξ_4 — суммарное время ожидания в очереди и передачи сообщения. Если хоть одна из компонент ξ превосходит соответствующую компоненту θ , то реализация признается неуспешной. Если ЛПР не может увеличить максимальную пропускную способность канала или объема памяти (то есть θ_2 или θ_3) либо ослабить требования к времени жизни (то есть уменьшить θ_4), оно вынуждено снизить вероятность успешной реализации на величину вероятности нехватки соответствующего ресурса, тем самым снизив θ_1 .

2.3 Основные показатели ЭИОР

Теперь, после того как даны необходимые определения, предложим определения основных показателей ЭИОР.

Будем исходить из следующих соображений. Единичная успешная реализация пользовательской задачи является необходимым, но не достаточным условием для того, чтобы использование ограниченных ресурсов можно было бы признать эффективным. В большинстве случаев ЛПР требуется, чтобы ограниченных ресурсов хватило на определенное число реализаций. Например, владельцу здания необходимо, чтобы в случае чрезвычайной ситуации были эвакуированы все люди, находящиеся в этом здании; оператор связи должен обеспечить обслуживание N абонентов, находящихся на определенной территории. Даже тогда, когда ЛПР и пользователь являются одним лицом, лишь в редких случаях пользовательская задача возникает всего один раз, большинство пользовательских задач на протяжении своей жизни пользователь вынужден решать снова и снова. Эффективное распределение ограниченных ресурсов подразумевает, что пользователи с высокой вероятностью смогут осуществить столько реализаций, сколько им будет необходимо.

В связи с этим, в качестве первого показателя ЭИОР предлагается *требуемое число реализаций* I , равное минимальному числу реализаций, при котором

выполнение пользовательской задачи признается эффективным. Данная величина зависит от пользовательской задачи, от ЛПР, от определения реализации, от временного промежутка ΔT , в течение которого должны осуществляться реализации, и не зависит явно от набора имеющихся СД, выделенных и требуемых ограниченных ресурсов.

Вернемся к примеру узла сенсорной сети. Если пользовательская задача состоит в том, чтобы передать через шлюз по сенсорной сети информацию о местонахождении пользователя, то с точки зрения этого пользователя требуемое число реализаций будет равно единице. Если рассмотреть тот же самый узел с точки зрения оператора, эксплуатирующего эту сеть, например, как часть системы безопасности, то требуемым числом реализаций за период спящего режима будет суммарное количество пользователей и датчиков, которые должны передать сообщения за этот период. При этом требуемое число реализаций будет одним и тем же независимо от того, какой выбран протокол сенсорной сети, сколько частотных каналов использует приемопередатчик и каков объем памяти микроконтроллера.

С изменением требуемого числа реализаций, изменяется и количество ограниченных ресурсов, которое приходится выделять на одну реализацию, с тем чтобы с высокой вероятностью обеспечить успешное выполнение всех из них. *Требуемым ограниченным ресурсом* типа h будем называть минимальное количество ограниченных ресурсов данного типа, которое необходимо выделить на все I реализаций (считая выделенные ограниченные ресурсы других типов фиксированными), чтобы вероятность выполнения всех этих реализаций была не ниже заранее определенного числа α . Требуемый ограниченный ресурс будем обозначать как P , а число α будем называть *уровнем доверия*.

Требуемые ограниченные ресурсы отличаются от введенных ранее выделенных и необходимых ограниченных ресурсов тем, что последние являются случайными величинами, определенными для одной реализации, а требуемые ограниченные ресурсы — измеримая функция от этих величин, зависящая только от известных параметров: необходимого числа реализаций и уровня доверия. Кроме того, требуемый ограниченный ресурс типа h может определяться выделенными

ресурсами других типов. Например, чем меньше максимальная скорость передачи данных, тем больше вероятность того, что вновь поступившее сообщение найдет приемопередатчик занятым и будет вынужден встать в очередь, а значит тем больший объем памяти для этой очереди должен быть предусмотрен.

В качестве еще одного показателя ЭИОР предлагается использовать *функцию ограниченных ресурсов* (ФОР) $E(I)$, равную отношению требуемого ограниченного ресурса типа h_0 к требуемому числу реализаций при заданном количестве выделенных ограниченных ресурсов других типов:

$$E(I; h_0, \alpha | \bigcap_{h \neq h_0} \{\theta_h = f_h\}) = \frac{P(I, h_0, \alpha | \bigcap_{h \neq h_0} \{\theta_h = f_h\})}{I}. \quad (2.3)$$

Физическим смыслом ФОР является то, что она показывает, какое количество ограниченных ресурсов требуется затратить, чтобы увеличить требуемое число реализаций на единицу. Далее в работе свойства ФОР будут исследованы более подробно.

ФОР по определению является функцией одной переменной — требуемого числа реализаций I , тип ограниченных ресурсов h_0 , ограничения по другим типам ресурсов и уровень доверия α входят в данную функцию в качестве параметров. В отличие от требуемого числа реализаций, данная функция непосредственно зависит от выбранного набора СД: используемых технологий, оборудования, методов обработки и передачи информации и т. п.

Третьим показателем ЭИОР предлагается считать *полезный эффект*, равный ожидаемой величине полезности от успешного выполнения всех I реализаций, выраженной в единицах какого-либо ограниченного ресурса. Полезный эффект определяется социальными аспектами использования ИКТ и обычно известен лишь весьма приблизительно. В настоящей работе мы будем считать его равным какой-то константе M . Его введение преследует две цели. Во-первых, приблизительное значение M должно использоваться для проверки того, что издержки и риски, возникающие при использовании тех или иных СД не превышают потенциального полезного эффекта от решения пользовательской задачи; если это так, ее выполнение не имеет смысла. Во-вторых, данная величина позволяет

учитывать относительную важность пользовательских задач. Часто бывает затруднительно оценить, насколько полезна в абсолютных единицах, например, задача обеспечения экстренной связью, однако часто можно сказать, насколько она является более важной по сравнению с другими задачами. Для проведения такого сравнения, в частности, можно использовать метод анализа иерархий [42].

Все три упомянутых показателя ЭИОР предлагается объединить в один *коэффициент ЭИОР* — безразмерную величину W , рассчитываемую по следующей формуле:

$$W = \frac{M}{P} = M \frac{I}{E(I)}. \quad (2.4)$$

Коэффициент ЭИОР показывает, во сколько раз ожидаемый полезный эффект превышает количество ограниченных ресурсов, которое потребуется выделить в худшем случае с вероятностью α . Поскольку, как отмечалось выше, в данной работе величина полезного эффекта определяться не будет, коэффициент ЭИОР будет определяться с точностью до константы. Однако до тех пор, пока рассматривается лишь одна пользовательская задача, этого будет достаточно, чтобы принимать решения, связанные с администрированием услуг. Для этого необходимо рассчитать значение коэффициента ЭИОР для различных альтернатив, считая M равным какому-то конкретному числу, например единице. Та альтернатива, для которой коэффициент ЭИОР будет больше, и должна быть выбрана, согласно предлагаемой модели.

На Рисунке 2.2 изображена схема предлагаемой модели конвергентной ИК услуги, на которой изображены взаимосвязи между входящими в нее понятиями.

2.4 Соответствие разработанной модели поставленным требованиям

Определение коэффициента ЭИОР, которое было предложено выше, согласуется с общим понятием об эффективности как отношению пользы, выгоды, блага к издержкам и рискам. В этом смысле оно не отличается от рассмотренных в первой главе техническими показателями эффективности систем радиосвязи

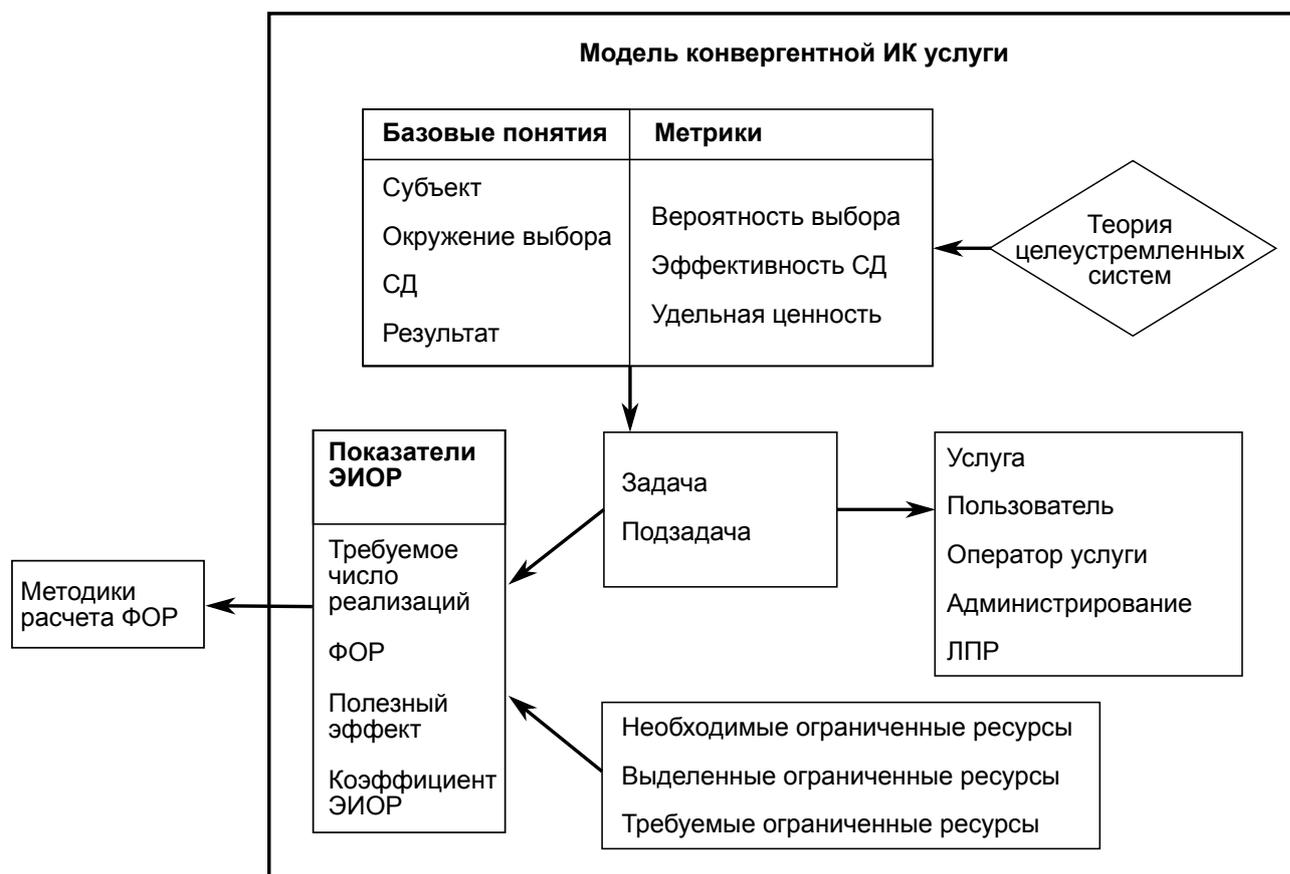


Рисунок 2.2 – Схема модели конвергентной ИК услуги

или коэффициента BOCR (англ. Benefits, Opportunities, Costs and Risks) [42], рассчитываемого в методе анализа иерархий. С другой стороны, предлагаемая модель конвергентной ИК услуги, включающая показатели ЭИОР, обладает рядом особенностей, которые обеспечивают выполнение сформулированных ранее требований.

Применимость на всех уровнях обеспечивается тем, что обобщенные понятия «требуемые ограниченные ресурсы», «необходимое число реализаций» могут быть конкретизированы как при проектировании технической системы (на этом уровне они соответствуют, например, емкости батареи, числу передаваемых пакетов), так и при распределении ограниченных ресурсов на уровне администрации (на этом уровне они соответствуют уже другим величинам, к примеру, величине диапазона частот, распределенного для радиослужбы, количеству пользователей данной радиослужбы).

Многокритериальность достигается тем, что ограниченные ресурсы различных типов рассматриваются как векторные величины. В следующей главе будет

показано, как при расчете показателя ЭИОР учитывать наличие ограничений сразу по нескольким типам ресурсов.

Связь с уровнем жизни обеспечивается декомпозицией коэффициента ЭИОР на три составляющие: полезный эффект, требуемое число реализаций и требуемые ограниченные ресурсы, которые, в свою очередь, зависят от множества параметров. При применении к конкретной задаче для расчета этих составляющих могут совместно применяться и технические, и высокоуровневые показатели.

Применимость для конвергентных и традиционных ИК услуг будет продемонстрирована в следующей главе. Там будет показано, что требуемое число реализаций и требуемые ограниченные ресурсы ведут себя как ковариантный и контрвариантный векторы. За счет этого появляется возможность применения тензорного анализа сетей, который позволяет проводить анализ сложных конвергентных ИК услуг, состоящих из множества взаимосвязанных подзадач и способов действий. При этом все предлагаемые показатели ЭИОР могут быть рассчитаны и для традиционных ИК услуги, подразумевающих лишь один способ действий, для распределения ограниченных ресурсов при оказании этих услуг или для проведения сравнения с конвергентными ИК услугами.

Предлагаемый автором подход позволяет при оценке ЭИОР *учитывать риски*. Во-первых, как необходимые, так и выделенные ограниченные ресурсы считаются случайными величинами. В коэффициент ЭИОР входят не средние значения данных величин, а их значения в «худшем» случае с определенным уровнем доверия (усреднение используется при расчете полезного эффекта, однако он не связан напрямую с рисками). Во-вторых, риск неуспешной реализации рассматривается как один из типов ограниченных ресурсов. В дальнейшем будет показано, в частности, что это позволяет явно учитывать увеличение риска при наложении дополнительных ограничений на другие ограниченные ресурсы или при увеличении требуемого числа реализаций.

Наконец, *минимальная необходимость в экспертных суждениях* обеспечивается тем, что лишь для одной составляющей коэффициента ЭИОР — полезного эффекта — не определена процедура измерения. Однако данный показатель определяется для пользовательской задачи в целом, в отличие от других, которые

определяются для отдельных реализаций, способов действий и подзадач. За счет этого число необходимых экспертных суждений остается небольшим.

2.5 Методика аналитического вычисления функции ограниченных ресурсов

Функция ограниченных ресурсов, в том числе ФОР может быть вычислена как для тех ограниченных ресурсов, использование которых при одной реализации не приводит к уменьшению выделенного ограниченного ресурса, доступного при последующих реализациях, так и для тех, у которых такое уменьшение происходит (всегда или иногда). Примером последних являются пропускная способность канала связи, объем памяти очереди, энергия батареи. Для расчета ФОР для данных ограниченных ресурсов недостаточно знать распределение вероятности необходимых ограниченных ресурсов ξ_{h_0} , поскольку выделенные ограниченные ресурсы θ_{h_0} также являются случайной величиной, зависящей от реализаций, выполнявшихся в текущий и предшествующий моменты времени. В частности, объем необходимой памяти для очереди зависит от того, поступают все сообщения на вход системы одновременно или с некоторой разницей во времени. В таких случаях вычислить ФОР и другие показатели ЭИОР можно при помощи имитационного моделирования, как будет показано в главе 3.

За другие же ограниченные ресурсы, такие как время активного периода или размер буфера приемопередатчика, в который помещается сообщение перед отправкой, реализации не конкурируют друг с другом, так как величина θ_{h_0} остается одной и той же независимо от того, сколько реализаций выполняется в настоящий момент или было выполнено до этого. Для успешного выполнения необходимого числа реализаций требуется выделить столько ограниченных ресурсов, сколько необходимо для «худшей» реализации, то есть такой, для которой величина ξ_{h_0} максимальна. Для подобных ограниченных ресурсов нетрудно вычислить ФОР аналитически.

Предположим, что известна функция распределения необходимых ограниченных ресурсов:

$$F(\theta) = \mathbb{P}(\xi_{h_0} \leq \theta). \quad (2.5)$$

Предположим, что необходимые ограниченные ресурсы при различных реализациях являются независимыми случайными величинами (в следующем подпараграфе будет рассмотрен случай, когда это условие не выполняется). Вероятность события $\bigcap_{t=1}^n \{\xi_t \leq \theta\}$, заключающегося в том, что величины выделенных ресурсов θ будет достаточно для n произвольных реализаций, будет равна произведению вероятностей соответствующих событий для отдельных реализаций. Поэтому функция распределения вероятностей для максимальной величины требуемого ресурса в наборе из n случайных реализаций будет иметь такой вид:

$$\begin{aligned} F_n(\theta) &= \mathbb{P}(\max_t \{\xi_t\} \leq \theta) = \mathbb{P}\left(\bigcap_{t=1}^n \{\xi_t \leq \theta\}\right) = \\ &= \mathbb{P}(\xi_1 \leq \theta) \mathbb{P}(\xi_2 \leq \theta) \dots \mathbb{P}(\xi_n \leq \theta) = (F(\theta))^n. \end{aligned} \quad (2.6)$$

ФОР находится следующим образом:

$$E(I) = \frac{1}{I} \min_{\theta} \{(F(\theta))^I \leq \alpha\}. \quad (2.7)$$

В качестве примера рассчитаем ФОР для времени активного периода. Требуемый ограниченный ресурс для конкретной реализации определяется тем, через какое время после начала активного периода по запросу микроконтроллера приходят сообщения от сенсоров и шлюзов. Для простоты будем считать, что по другим ресурсам ограничения отсутствуют, в том числе и по скорости передачи данных. Это предполагает, что пакеты передаются за время гораздо меньшее, чем время формирования сообщения. Тогда требуемый ограниченный ресурс для реализации приблизительно равен времени формирования сообщения сенсором или шлюзом, соответствующим данной реализации. Рассмотрим два возможных распределения данной случайной величины: экспоненциальное и распределение Парето. Экспоненциальным распределением, имеющим функцию распределения

$$F(\theta) = 1 - e^{-\mu\theta}, \quad (2.8)$$

где μ — параметр распределения, моделируется время обслуживания многих СМО [12]. Его можно использовать, если к узлу сенсорной сети подключено несколько однотипных датчиков с одинаковым средним временем формирования сообщения tu . Если же источники данных не известны заранее, например, в случае пользовательских терминалов, подключающихся к сенсорной сети через шлюзы, то величина μ является случайной. Во многих случаях, как показано в работе [85], распределение μ с хорошим приближением описывается гамма-распределением. Комбинация этих распределений (то есть выборка из экспоненциального распределения с параметром, случайно выбранным из гамма-распределения), как доказывалось там же, подчиняется распределению Парето:

$$F(\theta) = 1 - \left(\frac{\theta_m}{\theta}\right)^\beta, \quad \theta \leq \theta_m, \quad (2.9)$$

где θ_m и β — параметры распределения.

Для экспоненциального распределения, согласно формуле (2.7),

$$E(I) = \frac{1}{I} \min_{\theta} \{(1 - e^{-\mu\theta})^I \leq \alpha\}. \quad (2.10)$$

Неравенство в фигурных скобках обращается в равенство лишь при единственном значении θ :

$$\theta = -\frac{1}{\mu} \ln(1 - \alpha^{\frac{1}{I}}). \quad (2.11)$$

Таким образом, для $E(I)$ получаем:

$$E(I) = -\frac{1}{I\mu} \ln(1 - \alpha^{\frac{1}{I}}). \quad (2.12)$$

Для примера возьмем шлюз, обеспечивающий взаимодействие с пользовательскими устройствами по протоколу Bluetooth 2.1. Для данного шлюза время формирования сообщения определяется, прежде всего, задержкой при установлении соединения между шлюзом и пользовательским устройством. В зависимости от настроек приемопередающих модулей средняя задержка составляет от 600 до 1000 мс, при этом распределение этой задержки близко к экспоненциальному [97]. Один шлюз Bluetooth сенсорного узла может параллельно подключать

к себе до 7 устройств, при наличии двух таких шлюзов максимальное число реализаций становится равным 14. При большем числе требуемых реализаций устройства могут подсоединяться лишь по очереди, что делает недействительным предположения об отсутствии конкуренции между реализациями за доступ к ограниченному ресурсу. Таким образом, если предположить, что через шлюз всегда подключаются одни и те же устройства, имеющие одинаковое значение μ , ФОР для разных значений среднего времени формирования сообщения μ уровня доверия α будет иметь вид, изображенный на Рисунке 2.3.

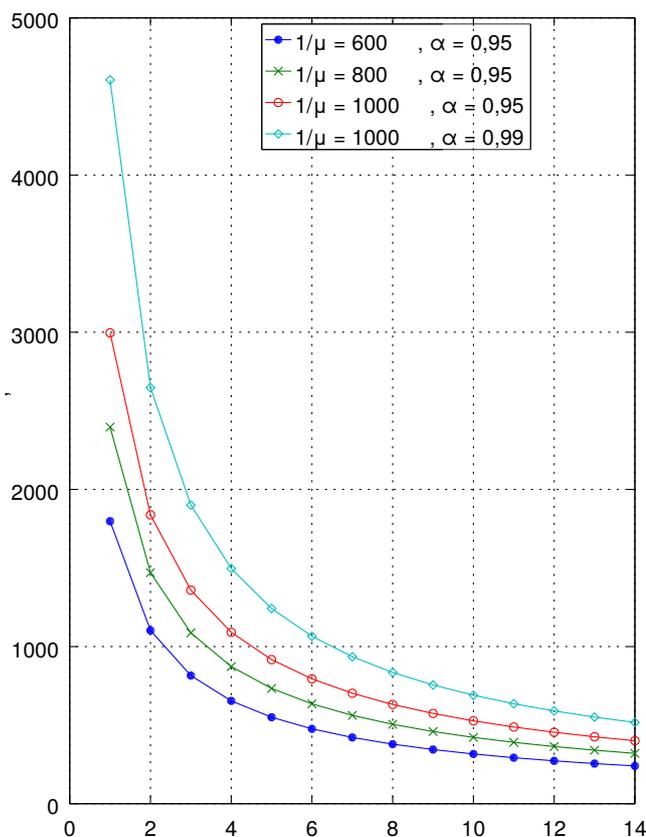


Рисунок 2.3 — ФОР для времени активного периода при подключении к сенсорному узлу однотипных пользовательских устройств по протоколу Bluetooth 2.1

Как видно из графиков на Рисунке 2.3, для $I = 1$ ФОР в несколько раз превышает среднее значения времени формирования сообщения. Это связано с тем, что выделенный ограниченный ресурс должен быть больше, чем требуется в среднем, чтобы обеспечить успешную реализацию с высокой вероятностью. С ростом I ФОР убывает и стремится к нулю, то есть дополнительное вре-

мя активного периода, которое требуется выделить при увеличении требуемого числа реализаций на единицу, снижается. Это обусловлено тем, что вероятность слишком отклонения от среднего при экспоненциальном распределении очень быстро (экспоненциально) падает с увеличением этого отклонения. Кроме того, из графика видно, что при повышении уровня доверия с 0,95 до 0,99 ФОР увеличивается в 1,5 раза. Это соответствует тому, что ограниченного ресурса нужно выделить тем больше, чем меньше допускается вероятность хотя бы одной неуспешной реализации.

Рассмотрим теперь распределение Парето:

$$F(\theta) = 1 - \left(\frac{\theta_m}{\theta}\right)^\beta, \quad (2.13)$$

Параметр θ данного распределения определяет минимальное значение случайной величины. В нашем случае его можно принять равным 400 мс. Параметр β характеризует «степень случайности» [92], которая возрастает с убыванием данного параметра. Так, при $\beta < 2$ дисперсия случайной величины становится бесконечной, а при $\alpha = 1$ не определено даже среднее значение. В нашем случае параметр β показывают, насколько сильно отличаются между собой устройства, подключающиеся к узлу сенсорной сети через шлюз.

Вновь воспользуемся формулой (2.7):

$$E(I) = \frac{1}{I} \min\left\{\left(1 - \left(\frac{\theta_m}{\theta}\right)^\beta\right)^I \leq \alpha\right\}. \quad (2.14)$$

Отсюда:

$$E(I) = \frac{\theta_m}{I} (1 - \alpha^{\frac{1}{I}})^{\frac{1}{\beta}}. \quad (2.15)$$

На Рисунке 2.4 показан вид ФОР для различных значений α . Как видно из графиков, ФОР убывает медленнее, чем в случае экспоненциального распределения. Проанализируем скорость этого убывания.

При больших значениях I функция $\alpha^{\frac{1}{I}}$ в первом приближении ведет себя как $1 + \frac{\ln \alpha}{I}$. Поэтому:

$$E(I) \approx \frac{1}{I} \left(\frac{I\theta_m}{-\ln \alpha}\right)^{\frac{1}{\beta}} \quad (2.16)$$

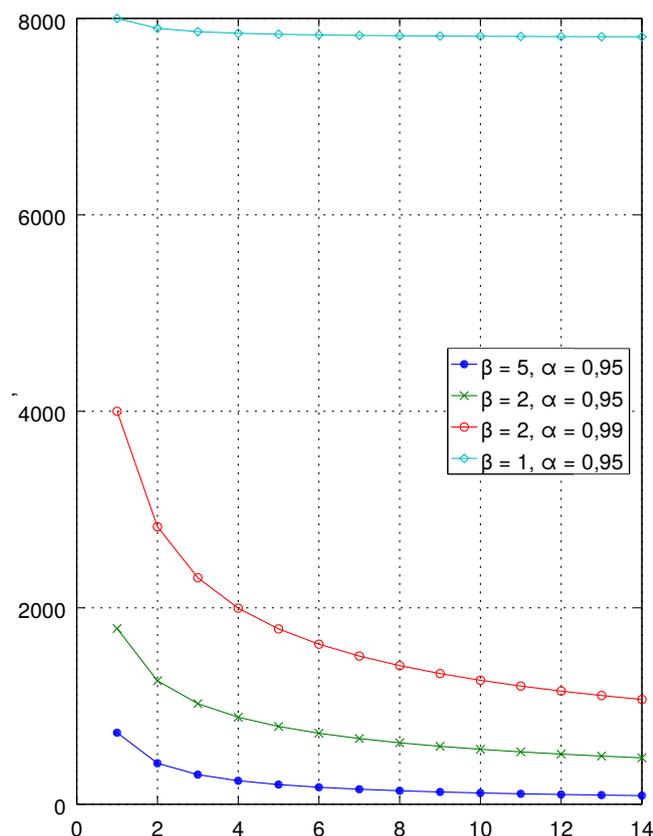


Рисунок 2.4 — ФОР для времени активного периода при подключении к сенсорному узлу разнотипных пользовательских устройств по протоколу Bluetooth 2.1

при $I \rightarrow +\infty$.

Таким образом, при $\beta = 1$ ФОР для распределения Парето стремится к постоянной $\frac{x_m}{-\ln \alpha}$. Это означает, что несмотря на то, что при реализации пользовательской задачи количество ограниченного ресурса, доступное для других реализаций, не уменьшается, при увеличении требуемого числа реализаций требуется увеличивать выделенный ограниченный ресурс, чтобы компенсировать увеличение вероятности возникновения реализации с чрезвычайно высоким значением необходимого ограниченного ресурса.

Исходя из этих рассуждений, при проектировании системы обеспечения индивидуальной безопасности при чрезвычайных ситуациях, в которой пользовательскими устройствами являются мобильные телефоны посетителей здания и обслуживающего персонала, было принято решение о выдаче обслуживающему персоналу однотипных устройств (мобильный телефон НТС 510е с набором про-

грамм собственной разработки) вместо использования собственных устройств членов персонала для повышения надежности системы. Также было выбрано время активного периода в 16 секунд при периоде опроса 300 секунд, что обеспечило успешный опрос всех пользовательских устройств с вероятностью 95%. Результаты измерений показали, что применение спящего режима с выбранными характеристиками продлевает время работы пользовательских устройств на 15% по сравнению с постоянным нахождением в активном режиме.

Далее в работе будут приведены примеры случаев, когда ФОР является возрастающей функцией. Эти случаи возникают, когда при реализации происходит трата или временная блокировка ограниченного ресурса. В подобных случаях знание ФОР особенно важно, поскольку оно позволяет сделать предположение о максимально возможном числе пользователей, которые могут одновременно получать ту или иную ИК услугу без значительного риска возникновения неуспешных реализаций.

2.5.1 Иерархическая декомпозиция пользовательской задачи

Во многих практических случаях целесообразно производить расчет ФОР не для всей пользовательской задачи, а для ее отдельных составных частей. Как было предложено выше, пользовательская задача может быть представлена в виде совокупности из M подзадач, так что для m -й подзадачи существует определенное число K_m различных СД. Отдельный СД является минимальным элементом, внутренняя структура которого не рассматривается в рамках модели, и из которого складываются все другие элементы. При этом, однако, какой-то конкретный СД можно рассмотреть как отдельную пользовательскую задачу, выделив в нем подзадачи и более детальные СД. Такая иерархическая декомпозиция позволяет упростить расчет ФОР, как будет показано в параграфе 4.1.6. Кроме того, за счет иерархической декомпозиции пользовательской задачи становится возможным формализовать различия как принципиальные отличия между ИК услугами (разный набор подзадач), так и особенности реализации (использование различных СД для одних и тех же подзадач). Это обеспечивает применимость модели на раз-

ных уровнях в соответствии с требованиями, сформулированными в параграфе 1.4.

Будет удобно применять два способа присвоения индексов СД. В первом способе используется два индекса $(D_{k,m})$: второй индекс соответствует номеру подзадачи и принимает значения от 1 до M , а первый индекс соответствует номеру СД для решения m -й подзадачи и может принимать значения от 1 до K_m . В другом способе СД присваивается один индекс в следующем порядке: первый СД первой подзадачи, второй СД первой подзадачи, ..., последний СД первой подзадачи, первый СД второй подзадачи, ..., последний СД второй подзадачи, ..., первый СД последней подзадачи, ..., последний СД последней подзадачи. В последнем случае индекс может принимать значения от 1 до $K = \sum_{m=1}^M K_m$.

В качестве примера проведем иерархическую для системы оповещения при чрезвычайных ситуациях (ЧС). Пользовательской задачей является безопасный и своевременный вывод пользователя системы из зоны ЧС. Пользовательская задача разделяется на следующие подзадачи [33; 91]:

1. Обнаружение возникновения ЧС.
2. Принятие решения об эвакуации.
3. Проведение эвакуации.

Для последней подзадачи имеется три СД: самостоятельная эвакуация (выход из зоны ЧС или укрытие в безопасном месте), организованная эвакуация, а также спасение людей, которым требуется помощь [100]. При этом последний СД делится еще на две подзадачи: обнаружение людей, которые не смогли выбраться самостоятельно, и спасение их ответственным персоналом или спасателями.

Структура взаимосвязей между подзадачами и СД, изображенная на Рисунке 2.5 [67; 100]. Предложенная схема иерархической декомпозиции использовалась при разработке программы для микроконтроллера узла сенсорной сети, в той или иной степени отвечающего за решение всех трех подзадач, где как будет показано в параграфе 5.2, каждому из элементов, изображенных на Рисунке 2.5, соответствовал отдельный модуль.

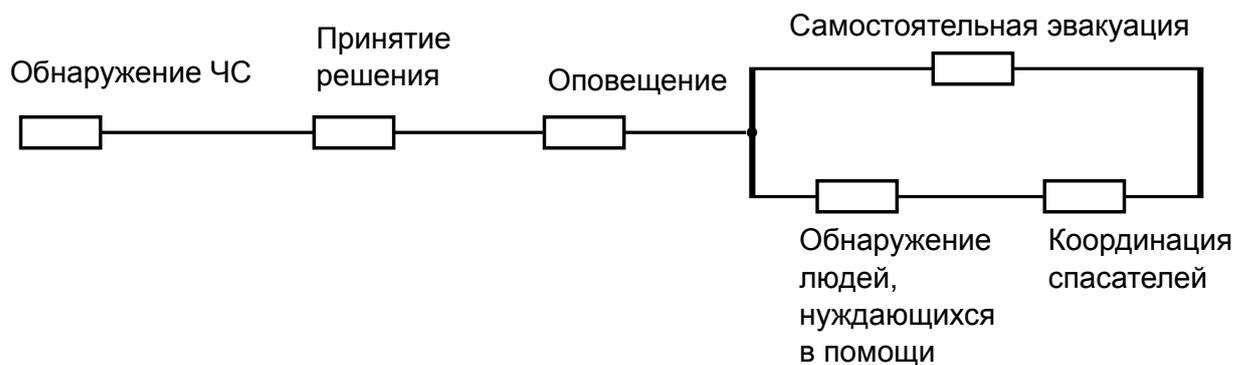


Рисунок 2.5 — Структура взаимосвязей между подзадачами и СД для услуги оповещения (управления) при ЧС

2.6 Выводы по главе 2

1. Показано, что получившие широкое распространение методологии моделирования инфокоммуникационных (ИК) услуг нецелесообразно использовать для оценки эффективности использования ограниченных ресурсов (ЭИОР), поскольку они либо не предлагают количественных характеристик для описываемых процессов, либо, напротив, оставляют возможность использования произвольного количества переменных для детального описания каждого структурного элемента модели. Для проведения же оценки ЭИОР количество переменных должно быть невелико. Тем самым обосновывается решение о разработке модели конвергентной ИК услуги.

2. В качестве основы для построения модели выбрана теория целеустремленных систем, где даются определения таких понятий, как субъект, окружение выбора, способ действий, результат, целеустремленное состояние, вероятность выбора СД, эффективность СД, удельная ценность результата. Данная основа была расширена понятиями, специфичными для ИК услуг: пользовательская задача, подзадача, реализация и решение подзадачи, услуга (в т. ч. ИК услуга, конвергентная ИК услуга), пользователь, оператор услуги, важность и предпочтительность СД, эффективность оператора услуги, администрирование услуги, лицо, принимающее решение (ЛПР), администрирование услуги. Также в модели автором предлагается рассматривать ограниченные ресурсы различных ти-

пов: частотный спектр, каналы связи, вычислительные машины, обслуживающий персонал и т. п.

3. В разработанной модели ИК услуги используется иерархическая декомпозиция пользовательской задачи, при которой последняя разбивается на последовательность подзадач, для решения которых используются те или иные СД, соответствующие различным технологиям, сетям связи и вещания, различным техническим параметрам осуществляемых действий. Также модель позволяет каждый конкретный СД рассмотреть как отдельную пользовательскую задачу, выделив в нем подзадачи и более детальные СД. Такой способ иерархической декомпозиции позволяет формализовать различия как принципиальные отличия между ИК услугами (разный набор подзадач), так и особенности реализации (использование различных СД для одних и тех же подзадач). Это обеспечивает применимость модели на разных уровнях в соответствии с требованиями, сформулированными в параграфе 1.4.

4. Предлагаются четыре показателя ЭИОР: требуемое число реализаций, функция ограниченных ресурсов (ФОР), полезный эффект, коэффициент ЭИОР. Доказано, что модель конвергентной ИК услуги, включающая данные показатели, удовлетворяет требованиям, сформулированным в главе 1.

5. Предложена методика аналитического вычисления ФОР на основе основе функции распределения необходимых ограниченных ресурсов. Произведены расчеты ФОР для времени активного периода узла сенсорной сети для случаев однотипных и разнотипных пользовательских устройств. Исходя из этих расчетов, при проектировании системы обеспечения индивидуальной безопасности при чрезвычайных ситуациях было принято решение о выдаче обслуживающему персоналу однотипных устройств (мобильный телефон НТС 510е с набором программ собственной разработки) вместо использования собственных устройств членов персонала для повышения надежности системы. Также было выбрано время активного периода в 16 секунд при периоде опроса 300 секунд, что обеспечило успешный опрос всех пользовательских устройств с вероятностью 95%. Также применение спящего режима с выбранными характеристиками продлило

время работы пользовательских устройств на 15% по сравнению с постоянным нахождением в активном режиме.

Глава 3. Расчет показателей эффективности использования ограниченных ресурсов при помощи имитационного моделирования

В данной главе разрабатывается методика расчета показателей эффективности использования ограниченных ресурсов (ЭИОР) любых типов при помощи имитационного моделирования и производится расчет показателей ЭИОР для узла сенсорной сети.

3.1 Методика расчета показателей ЭИОР при помощи имитационного моделирования

Как было отмечено выше, аналитический расчет показателей ЭИОР для многих типов ограниченных ресурсов затруднителен, поскольку он требует знания не только распределения вероятности необходимых ограниченных ресурсов, но и знания о влиянии отдельных реализаций друг на друга. В связи с этим, зачастую более целесообразно произвести расчет ФОР при помощи имитационного моделирования.

Ниже предлагается методика расчета показателей ЭИОР, состоящая из нескольких этапов.

3.1.1 Этап 1. Определение параметров модели.

На данном подготовительном этапе нужно применить модель, разработанную в главе 2, к конкретным имеющимся условиям. Вначале следует сформулировать пользовательскую задачу, определить имеющиеся подзадачи и способы действий (СД), выделить альтернативы. При проектировании узла сенсорной сети пользовательской задачей была передача в диспетчерский центр по сенсорной сети информации от датчиков и мобильных терминалов обслуживающего персонала. Для простоты рассматривался лишь одна подзадача. Доступные СД определялись комбинациями двух сенсорных приемопередающих модулей (DigiMesh XBee и MeshLogic) и двух микроконтроллеров (ATmega328 и ATmega2560) — всего четы-

ре альтернативы. Приемопередатчики различаются по скорости передачи данных и вероятности ошибки (несмотря на то, оба приемопередающих модуля используют один и тот же частотный диапазон 2,4 ГГц, стек их протоколов отличается), микроконтроллеры — по объемы памяти с произвольным доступом (англ. Static Random Access Memory, SRAM).

Технические характеристики приемопередающих модулей приведены в Таблице 3.1, а микроконтроллеров — в Таблице 3.2.

Таблица 3.1 – Технические характеристики приемопередающих модулей

Характеристики	MeshLogic	DigiMesh XBee
Протокол	IEEE 802.15.4	Digi
Топология	Mesh	«Звезда»
Диапазон частот	2400-2483,5 МГц	2400-2483,5 МГц
Ток потребления в режиме передачи	21 мА	45 мА
Ток потребления в спящем режиме	9 мкА	10 мкА
Скорость	от 9600 до 115200 бит/с	от 9600 до 256000 бит/с
Цена	2500 руб.	3700 руб.

Микроконтроллеры

Таблица 3.2 – Технические характеристики микроконтроллеров

Характеристики	ATmega328	ATmega256
Память SRAM	2 Кбайт	8 Кбайт
Ток потребления в режиме передачи	10 мА	10 мА
Ток потребления в спящем режиме	5 мкА	5 мкА
Цена	180 руб.	460 руб.

После этого необходимо определиться с тем, какие типы ограниченных ресурсов будут присутствовать в модели. Имеет смысл в модель включать только те ресурсы, ограничения по которым действительно сказывается на принятии решений. При проектировании узла сенсорной сети в качестве ограниченных ресурсов рассматривались максимальная скорость передачи данных, объем памяти, емкость батарей, риск неуспешной реализации. С другой стороны, такой ресурс, как объем буфера приемопередатчика, в который помещается пакет перед отправкой, не был включен в модель, так как в рассматриваемой системе все пе-

редаваемые сообщения имеют достаточно небольшую длину, чтобы поместиться в буфер обоих приемопередатчиков.

3.1.2 Этап 2. Формализация алгоритма реализации пользовательской задачи.

На данном шаге необходимо сформулировать правила, по которым при каждой реализации определяется необходимые и выделенные ограниченные ресурсы каждого типа. Данные правила могут включать в себя вычисление различных переменных, генерацию случайных величин с теми или иными функциями распределения, условные ветвления, циклы или другие управляющие конструкции.

Приведем описание алгоритма реализации передачи информации через сенсорный узел в течение одного периода активности. Блок-схема алгоритма изображена на Рисунках 3.1, 3.2 и 3.3. Условные обозначения блок-схемы приведены на Рисунке 3.4.

1. Начало основного алгоритма. Поскольку одной реализацией пользовательской задачи является передача сообщения от нескольких источника данных, подключенных к сенсорному узлу, целесообразно присвоить порядковые номера всем источникам данных от 1 до I .

2. Входными параметрами для алгоритма являются:

- $F_1(t)$ — функция распределения времени формирования сообщений;
- $F_2(d)$ — функция распределения эффективной длины сообщения. Хотя длина сообщения фиксирована, пересылка сообщений занимает разное время по разным причинам: число доступных частотных каналов в пределах диапазона 2,4 ГГц постоянно меняется, обнаруженные ошибки вызывают повторную передачу сообщения и т. п. Чтобы отразить эти различия, предлагается характеризовать каждое сообщение «эффективной длиной», которая показывает, какой длины сообщение могло бы быть передано сенсорным узлом при некоторых «идеальных условиях» за то время, которое реально заняла пересылка данного сообщения;
- T_{\max} — время активного периода;
- C — максимальная пропускная способность приемопередатчика;

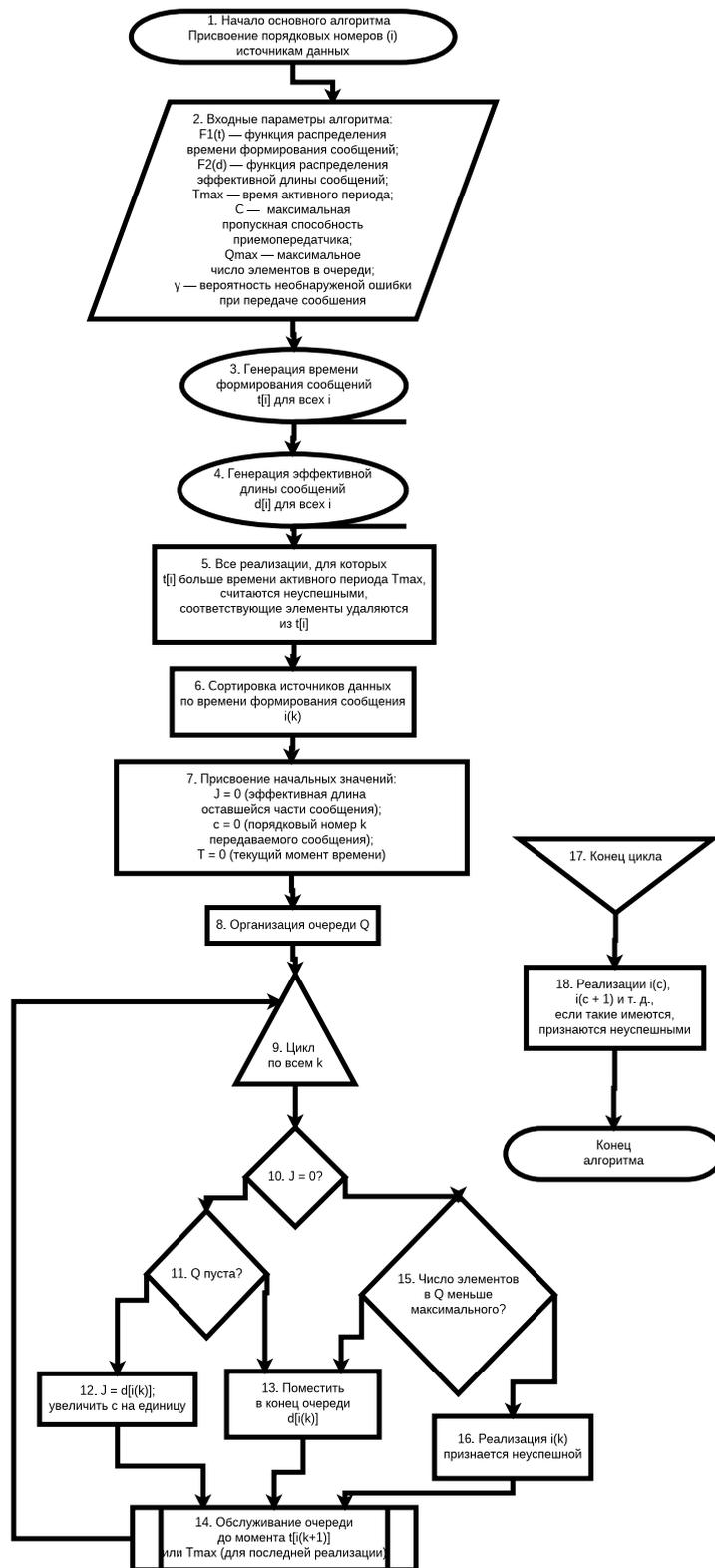


Рисунок 3.1 — Блок-схема основного алгоритма реализации пользовательской задачи

— Q_{\max} — максимальное число элементов в очереди.

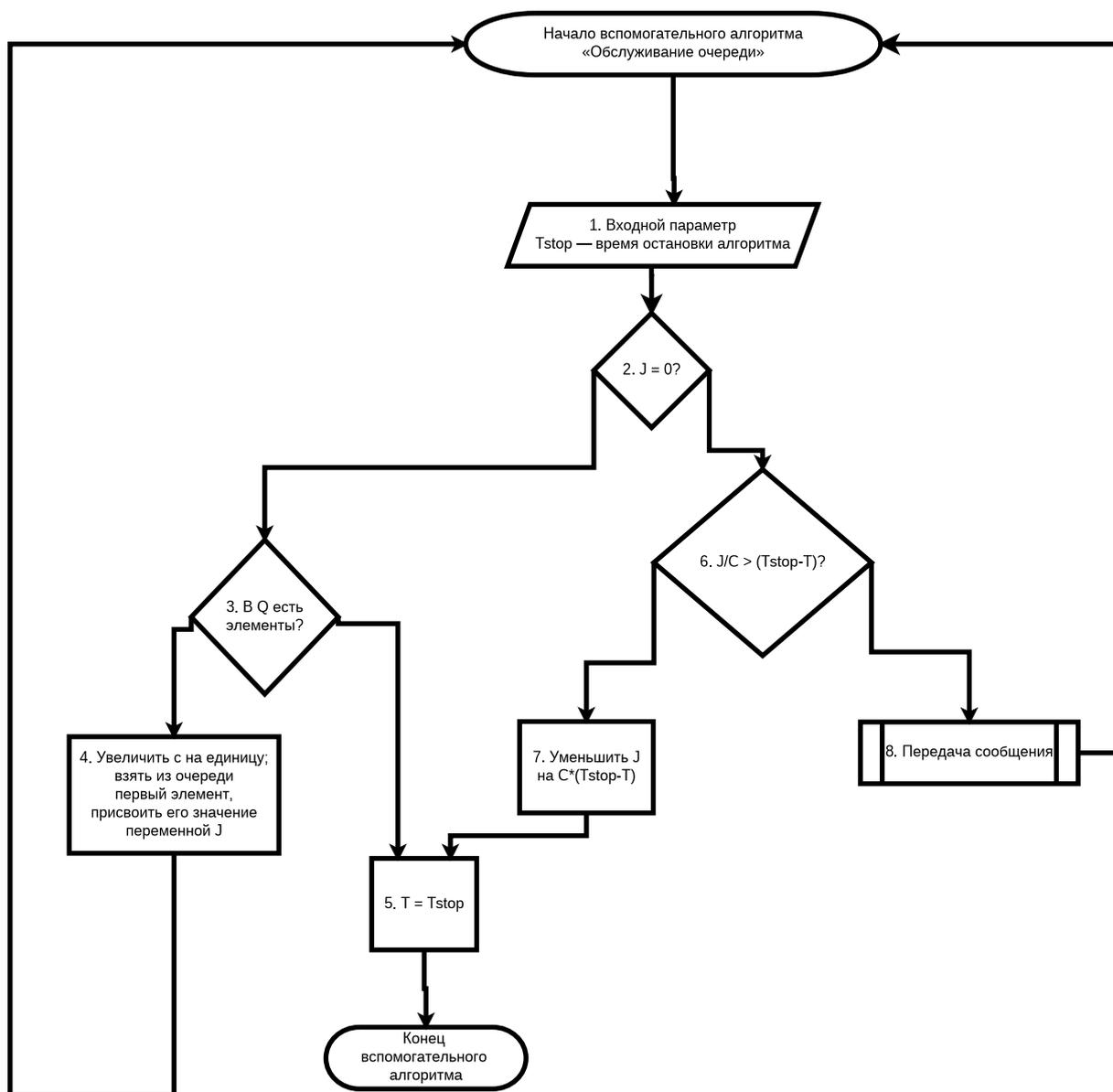


Рисунок 3.2 — Блок-схема вспомогательного алгоритма «Обслуживание очереди»

Каждая из входных параметров T_{\max} , C , Q_{\max} может быть равен бесконечности, если отсутствуют ограничения по времени активного периода, пропускной способности или объему памяти соответственно.

3. Генерация времени формирования сообщений для всех реализаций $t[i]$. Данный шаг алгоритма является примером генерации случайных величин. При этом на этапе формализации алгоритма конкретное распределение случайной величины может быть неизвестно. В общем случае для функции распределения случайной величины $F(x)$ необходимо взять обратную функцию $F_1^{-1}(p)$ и взять ее значение от значения случайной величины, равномерно распределен-

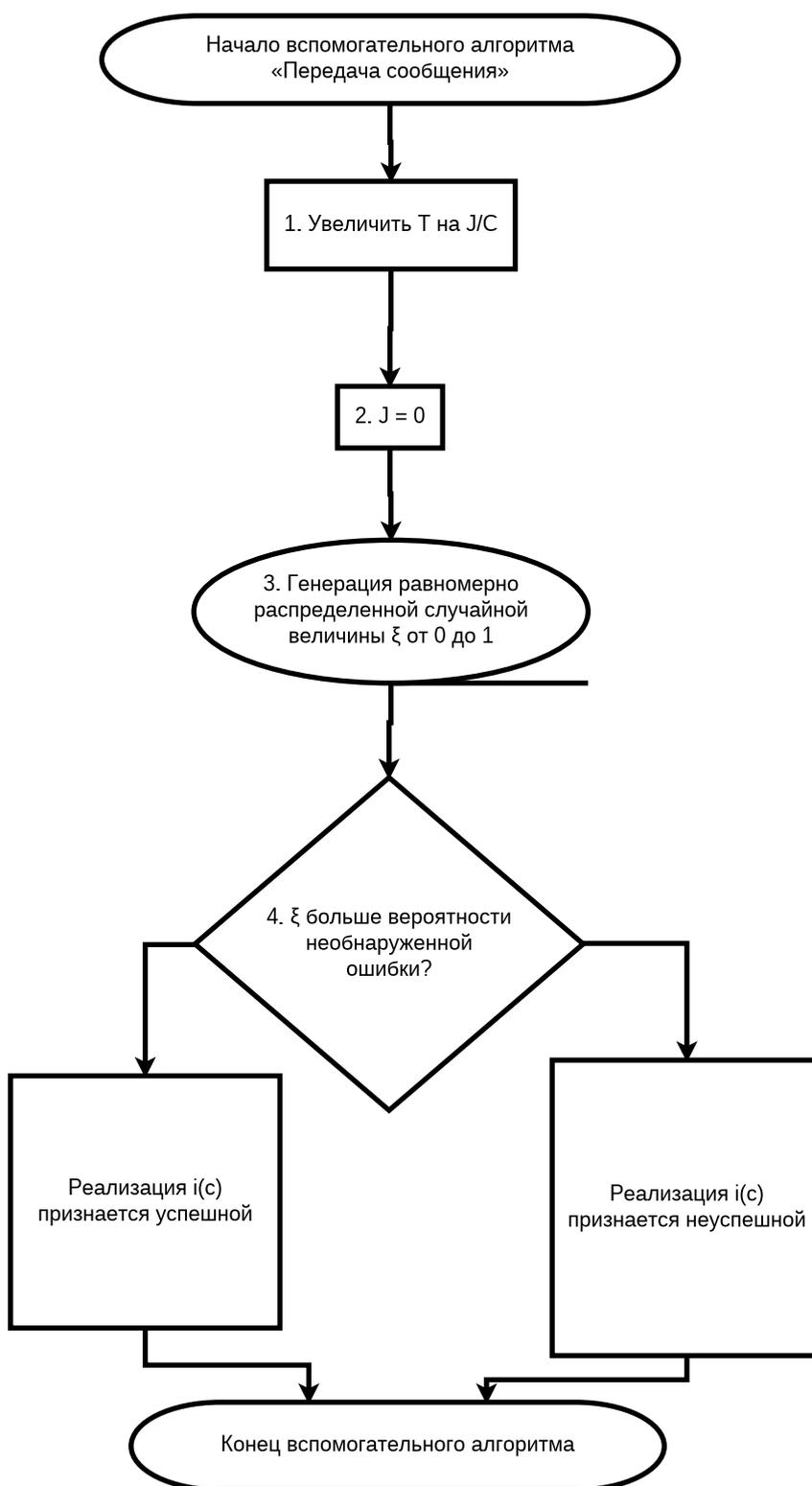


Рисунок 3.3 — Блок-схема вспомогательного алгоритма «Передача сообщения»

ной на отрезке $[0, 1]$. Полученное число и будет значением требуемой случайной величины.

4. Генерация эффективной длины сообщений для всех реализаций $d(i)$ аналогичным образом при помощи обратной функции распределения $F_2^{-1}(p)$.

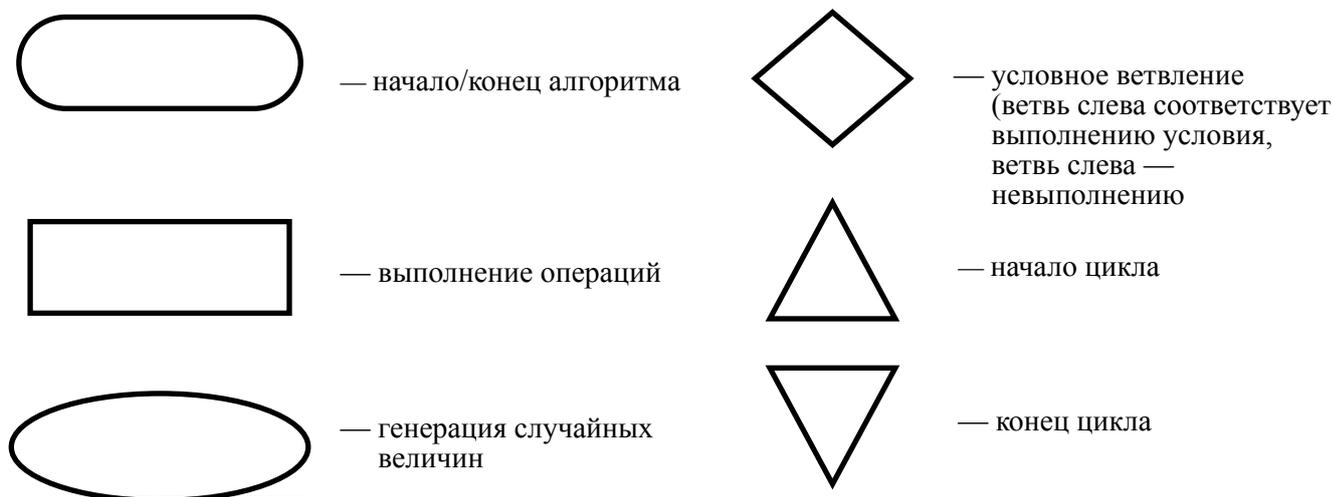


Рисунок 3.4 — Условные обозначения блок-схем на Рисунках 3.1, 3.2 и 3.3

5. Сортировка источников данных по времени формирования сообщения. На данном шаге алгоритма реализации упорядочиваются по возрастанию времени формирования сообщений. Те сообщения, для которых данное время одинаково, сортируются в произвольном порядке. В результате данной сортировки получается функция перестановки $i(k)$, которая для порядкового номера сформированного сообщения, начиная с самого раннего, дает порядковый номер реализации.

6. На данном шаге алгоритма впервые происходит «отсев» реализаций вследствие ограниченности ресурса — времени активного периода T_{\max} . Все реализации, для которых время формирования сообщений больше T_{\max} сразу можно считать неуспешными, поскольку соответствующие сообщения будут готовы к отправке уже после того, как активный период закончится.

7. В алгоритме используется несколько переменных, моделирующих текущее состояние сенсорного узла:

- T — время с начала активного периода, которое увеличивается каждый раз, как происходит одно из трех событий: источники данных формируют новые сообщения, приемопередатчик заканчивают передачу текущего сообщения, заканчивается время текущего периода;

- c — порядковый номер k сообщения, передаваемого в текущий момент;

- J — эффективная длина оставшейся части сообщения, передаваемого в текущий момент. Будем называть ее «буфером приемопередатчика» и говорить, что буфер пуст, когда $J = 0$;

– γ – вероятность необнаруженной ошибки при передаче сообщения. Если такая ошибка возникает, реализация считается неуспешной.

На данном шаге алгоритма все три переменные инициализируются нулевыми значениями.

8. Организация очереди Q , моделирующей очередь сенсорного узла. Элементами очереди являются эффективные длины соответствующих сообщений.

9. На данном шаге алгоритма начинается цикл по всем сообщениям, начиная с самого раннего.

10. В начале цикла проверяется, имеется ли сообщение в буфере приемопередатчика. После этого происходит условное ветвление.

11. Если сообщений в буфере нет, проверяется другое условие — есть ли элементы в очереди Q .

12. Если очередь Q пуста, то сообщение помещается непосредственно в буфер приемопередатчика.

13. В противном случае сообщение помещается в конец очереди Q . При этом проверка на наличие доступной памяти в очереди не проверяется, поскольку на следующем шаге алгоритма произойдет из очереди первого элемента.

14. Запускается вспомогательный алгоритм «Обслуживание очереди» до момента формирования следующего сообщения, либо, если сообщений больше не осталось, до времени окончания активного периода T_{\max} .

15. Если же в момент формирования сообщения приемопередатчик занят, выполняется проверка наличия доступной памяти для еще одного сообщения в очереди. Если доступной памяти достаточно, сообщение ставится в конец очереди и запускается вспомогательный алгоритм «Обслуживание очереди».

16. Если памяти недостаточно, соответствующая реализация признается неуспешной.

17. Во время последней итерации цикла происходит передача сообщений в очереди до момента окончания активного периода.

18. Если после этого момента в буфере приемопередатчика или в очереди Q остаются сообщения, соответствующие реализации признаются неуспешными. На этом основной алгоритм заканчивается.

Опишем теперь вспомогательный алгоритм «Обслуживание очереди».

1. Параметром алгоритма является время его остановки T_{stop} . Данный параметр указывает, каким должно быть значение переменной времени T по окончании работы вспомогательного алгоритма независимо от остальных условий.

2. Вначале производится проверка того, есть ли сообщение в буфере приемопередатчика. После этого происходит условное ветвление.

3. В случае, если буфер приемопередатчика пуст, проверяется наличие элементов в очереди Q .

4. Если элементы есть, то первый из них помещается в буфер приемопередатчика, порядковый номер текущего сообщения s увеличивается на единицу, и вспомогательный алгоритм запускается вновь.

5. Если же элементов в очереди нет, то сообщений для передачи не осталось, и можно сразу перейти к моменту времени T_{stop} , закончив выполнение вспомогательного алгоритма.

6. Если в буфере приемопередатчика имеется сообщение или его часть, выполняется проверка того успеет ли приемопередатчик передать все имеющиеся в буфере данные до момента T_{stop} . При этом, поскольку все неопределенности во времени передачи сообщения уже были учтены при формировании эффективной длины, скорость приемопередатчика считается постоянной и равной C .

7. Если данное условие не выполняется, то до момента времени T_{stop} приемопередатчик будет занят текущим пакетом. За оставшееся время он успеет уменьшить эффективную длину оставшейся части сообщения на $C \cdot (T_{\text{stop}} - T)$. Поэтому следует завершить вспомогательный алгоритм, уменьшив J на указанную величину и перейдя к моменту T_{stop} .

8. Если же условие не выполняется, происходит выполнение вспомогательного алгоритма «Передача сообщения» и возврат к началу алгоритма для передачи следующего сообщения в очереди за оставшееся время.

Алгоритм «Передача сообщения» моделирует возникновение необработанных ошибок при передаче сообщения с вероятностью γ .

1. Передачи части сообщения эффективной длины J занимает время J/C , поэтому переменная T увеличивается на эту величину.

2. Буфер приемопередатчика освобождается.
3. Генерируется случайная величина ξ , равномерно распределенная на отрезке $[0, 1]$.
4. Если ξ оказалось больше γ (вероятность этого события равна $1 - \gamma$), текущая реализация признается успешной, в противном случае — неуспешной.

После того, как формальный алгоритм разработан, он должен быть реализован на ЭВМ. Для приведенного выше алгоритма было разработано несколько блоков-модулей с среде Matlab/GNU Octave, описание которых будет дано ниже.

3.1.3 Этап 3. Итерационное вычисление ФОР

Одним из результатов предыдущего этапа методики является определение всех случайных величин, от которых зависит реализация пользовательской задачи. К примеру, при проведении моделирования работы узла сенсорной сети такими случайными величинами являются время формирования сообщения, его «эффективная длина», а также случайное число с равномерным распределением от 0 до 1, характеризующее возникновение необнаруженной ошибки при передаче сообщения.

Если значения всех этих случайных величин заданы, то результаты запуска формального алгоритма полностью детерминированы и определяются только ограничениями на ресурсы различных типов. Для вычисления ФОР потребуются проведение имитации большого количества реализаций. Поэтому на данном этапе необходимо вначале сгенерировать большое число N наборов случайных величин, характеризующих реализацию. Конкретное значение N определяется требуемой точностью определения ФОР: чем больше N , тем лучше будет точность. Вопрос оценки точности определения ФОР будет рассмотрен ниже.

Согласно определению, ФОР является функцией одного аргумента — требуемого числа реализаций и вычисляется для какого-то типа ограниченных ресурсов при фиксированном значении других ограниченных ресурсов. Поэтому для вычисления ФОР необходимо задать диапазон значений требуемого числа реализаций и ограничения на ресурсы всех типов, кроме одного (с порядковым

номером h_0), для которого и будет выполняться расчет ФОР. При проектировании узла сенсорной сети в качестве диапазона требуемого числа реализаций был выбран отрезок от 1 до 10, так одновременное подключение к нему более 10 пользовательских устройств не предполагалось. Расчет ФОР производился для максимальной пропускной способности. Такой выбор связан с тем, что чем ниже требования узла сенсорной сети к максимальной пропускной способности, тем в более сложной электромагнитной обстановке может он работать. Поскольку сенсорные узлы часто размещаются на близком расстоянии с другими радиоэлектронными устройствами, работающими в диапазоне 2,4 ГГц, и друг с другом, ФОР для максимальной пропускной способности определяет область возможных применений узла сенсорной сети и потому является очень важной.

Для каждого значения требуемого числа реализаций из выбранного диапазона проводится одна и та же процедура. Для каждого сгенерированного набора случайных чисел от 1 до N производится вычисление требуемого ограниченного ресурса типа h_0 . Для этого набор подается на вход алгоритма реализации пользовательской задачи вместе с ограничениями по ресурсам, а также требуемым числом реализаций. Если в результате выполнения алгоритма обнаруживается, что указанным ограничениям удовлетворить нельзя, ограничение по выбранному типу ресурса ослабляется, в противном случае — усиливается. В результате этих итераций ищется минимальное значение ограниченного ресурса в расчете на одну реализацию, при котором ограничения еще удовлетворяются.

В результате для каждого требуемого числа реализаций имеется массив из N подобных значений — по одному для каждого набора. Значение ФОР ищется как квантиль для выборки из N значений случайной величины. Последовательность действий для этой операции описана, например, в [83]. Она сводится к сортировке массива значений по возрастанию и выборке из него элемента с порядковым номером $\lceil \alpha N \rceil$, где α — уровень доверия, $\lceil \cdot \rceil$ — операция округления до целого сверху.

Чтобы оценить точность определения квантиля, в работе [83] предлагается использовать метод, в англоязычной литературе называемый *jackknife resampling*. Данный метод заключается в том, что массив из N значений разбивается на m

групп. Число групп выбирается не очень большим, от 10 до 20, чтобы число элементов в каждой группе было одинаково и равно K , $N = km$. Обозначим как $\tilde{E}_N(k)$ оценку квантиля, полученную из всех N элементов массива, кроме группы с порядковым номером k , а как E_N — оценку квантиля, полученную из всех элементов массива без исключений. Вводятся величины $\beta_N(k)$, определяемые следующим образом:

$$\beta_N(k) = mE_N - (m - 1)\tilde{E}_N(k), \quad (3.1)$$

величина β_N , вычисляемая по формуле:

$$\beta_N = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^K \beta_N(k), \quad (3.2)$$

а также величина

$$v_N = \frac{1}{m - 1} \sum_{k=1}^K (\alpha_N(k) - \alpha_N)^2. \quad (3.3)$$

Как доказывается в [83], для выбранной вероятности δ значение квантиля лежит на отрезке $[\alpha_N - t\sqrt{\frac{v_N}{m}}, \alpha_N + t\sqrt{\frac{v_N}{m}}]$ с вероятностью $1 - \delta$, где величина t выбирается таким образом, чтобы для случайной величины t_{m-1} , имеющей распределение Стьюдента с $m - 1$ степенями свободы, выполнялось условие

$$\mathbb{P}(-t < t_{m-1} < t) = 1 - \delta. \quad (3.4)$$

Таким образом, при вычислении ФОР для одного значения аргумента необходимо N раз выполнить цикл по вычислению требуемого ограниченного ресурса, состоящий из нескольких итераций. Обозначим среднее число этих итераций как Y . Для определения ФОР на всем диапазоне от 1 до I_{\max} требуется выполнить I_{\max} таких циклов. При этом запуск алгоритма реализации пользовательской задачи обычно также подразумевает циклический расчет значений различных величин для различных моментов времени от начального до конечного T_{\max} с шагом t_0 для каждой из I реализаций. В результате, вычислительная сложность, зависящая от произведения $NYI_{\max}^2 T_{\max}/t_0$ может оказаться довольно высокой.

Поэтому для тех случаев, когда значение ФОР должно быть получено для большого количества подзадач и СД, либо когда вычисления должны проводиться в режиме реального времени, методика расчета ФОР при помощи имитационного моделирования не подходит. Поэтому в следующей главе будет предложена другая, упрощенная методика расчета ФОР, основанная на линейном приближении ФОР.

3.1.4 Этап 4. Расчет коэффициента ЭИОР

Приведенные выше этапы позволяют рассчитать ФОР. Требуемое число реализаций и полезный эффект определяются на основании анализа пользовательской задачи. Коэффициент ЭИОР является функцией ФОР, полезного эффекта и требуемого числа реализаций. Коэффициент ЭИОР является скаляром и может использоваться для принятия решений. Согласно модели конвергентной ИК услуги, при принятии решений следует давать больший приоритет альтернативам с более высоким значением коэффициента ЭИОР, поскольку для них отношение полезного эффекта к требуемым ограниченными ресурсам максимальное.

Поскольку полезный эффект M рассчитывается для всей пользовательской задачи и не зависит от набора используемых СД, то если все имеющиеся альтернативы предназначены для решения одной и той же пользовательской задачи, нет необходимости вычислять для них M . Вместо этого можно считать значение этой величины константой и проводить принятие решений, основываясь на сравнении произведения $IE(I; h_0, \alpha)$. В этом случае наибольший приоритет следует отдавать альтернатива с наименьшим значением этого произведения.

3.2 Расчет показателей ЭИОР для узла сенсорной сети

В настоящем параграфе представлены результаты описанной выше методики для расчета показателей ЭИОР узла сенсорной сети. Данный расчет производился при проектировании этого узла с целью выбора конфигурации, которая

обеспечивала бы решение пользовательской задаче при небольшой цене устройства.

3.2.1 Программная реализация методики

Автором была разработана программа для среды Matlab/GNU Octave, осуществляющая имитационное моделирование. Программа состоит из трех блоков, каждый из которых представляет собой программную функцию.

Дадим описание каждой программной функции.

`generate_flow(arv_fun, elength_fun, I)` — программная функция, генерирующая случайные значения, от которых зависит реализация пользовательской задачи.

Аргументы:

1. `arv_fun` — указатель на программную функцию, генерирующую матрицу случайных величин, соответствующих времени формирования сообщения в миллисекундах. Программная функция `arv` должна принимать два аргумента `m` и `n`, соответствующих размеру матрицы.

2. `elength_fun` — указатель на программную функцию, генерирующую матрицу случайных величин, соответствующих эффективной длине сообщения в битах. Программная функция `arv` должна принимать два аргумента `m` и `n`, соответствующих размеру матрицы.

3. `I` — требуемое число реализаций.

Возвращаемое значение: матрица случайных значений размером $I \times 2$, в которой первый столбец соответствует времени формирования сообщения, а второй столбец — эффективной длине сообщения. Каждая строка соответствует одному источнику данных. Строки отсортированы по возрастанию времени формирования сообщения.

`simulate_queue(flow, step, active, speed, mem, gamma)` — программная функция, выполняющая алгоритм реализации пользовательской задачи и подсчитывающая количество успешных и неуспешных реализаций.

Аргументы:

1. `flow` — матрица случайных значений, возвращаемая функцией `generate_flow`.

2. `step` — шаг моделирования, длина отрезка времени, на которые разбивается период активности.

3. `active` — время активного периода. Значение по умолчанию — `Inf` (бесконечное).

4. `speed` — максимальная пропускная способность. Значение по умолчанию — `Inf` (бесконечное).

5. `mem` — объем памяти, доступный для очереди. Значение по умолчанию — `Inf` (бесконечное).

6. `gamma` — вероятность необнаруженной ошибки при передаче сообщения. Значение по умолчанию — 0.

Возвращаемое значение: структура `stats`, содержащая следующие поля:

- `stats.lost` — число неуспешных реализаций;
- `stats.T` — вектор, содержащий отсчеты времени от 0 до конца времени активного периода с шагом, заданным аргументом `step`;
- `stats.J` — вектор длиной, равной длине вектора `stats.T`, каждая компонента которого равна эффективной длине сообщения, остающейся в буфере в момент времени, равный соответствующей компоненте вектора `stats.T`;
- `stats.q1` — вектор длиной, равной длине вектора `stats.T`, каждая компонента которого равна длине очереди в момент времени, равный соответствующей компоненте вектора `stats.T`;
- `stats.q` — матрица, столбцы которой соответствуют компонентам вектора `stats.T`, а строки — местам в очереди, организованной в памяти микроконтроллера. Длина очереди определяется соответствующей величиной `stats.q1`. В каждой строке все компоненты с индексами, большими длины очереди, равны нулю.

`spd_excess(params)` — программная функция, запускающая алгоритм реализации пользовательской задачи и возвращающая положительное значение, если все реализации были успешными и отрицательное в противном случае.

Аргументом данной программной функции является структура `params` с компонентами, совпадающими с аргументами `simulate_queue`.

Возвращаемое значение: оценочное значение величины максимального уменьшения пропускной способности, при котором еще возможна успешная передача всех сообщений. В случае, если некоторые реализации оказались неуспешными, возвращается число этих реализаций с отрицательным знаком.

`req_spd(flow, step, active, mem, gamma)` — программная функция, определяющая минимальное значение максимальной пропускной способности, при которой узел сенсорной сети успеет обработать сообщения от всех источников данных при заданных ограничениях на время активного периода и размер очереди. Вызывает встроенную программную функцию Matlab/GNU Octave `fzero`, с тем чтобы найти то значение максимальной пропускной способности, при которой значение `spd_excess` будет близко к нулю.

Аргументы:

1. `flow` — матрица случайных значений, возвращаемая функцией `generate_flow`.

2. `step` — шаг моделирования, длина отрезка времени, на которые разбивается период активности.

3. `active` — время активного периода. Значение по умолчанию — `Inf` (бесконечное).

4. `speed` — максимальная пропускная способность. Значение по умолчанию — `Inf` (бесконечное).

5. `mem` — объем памяти, доступный для очереди. Значение по умолчанию — `Inf` (бесконечное).

6. `gamma` — вероятность необнаруженной ошибки при передаче сообщения. Значение по умолчанию — 0.

Возвращаемое значение: требуемое число реализаций для набора случайных величин, заданных в параметре `flow`.

`get_outputs()` — программная функция, осуществляющая расчет ФОР для различных значений требуемого числа реализаций и представляющая результаты вычисления на графике.

Схема взаимосвязи между программными функциями показана на Рисунке 3.5. На данной схеме прямоугольниками показаны программные функции, а стрелками — иерархия вызовов программных функций.

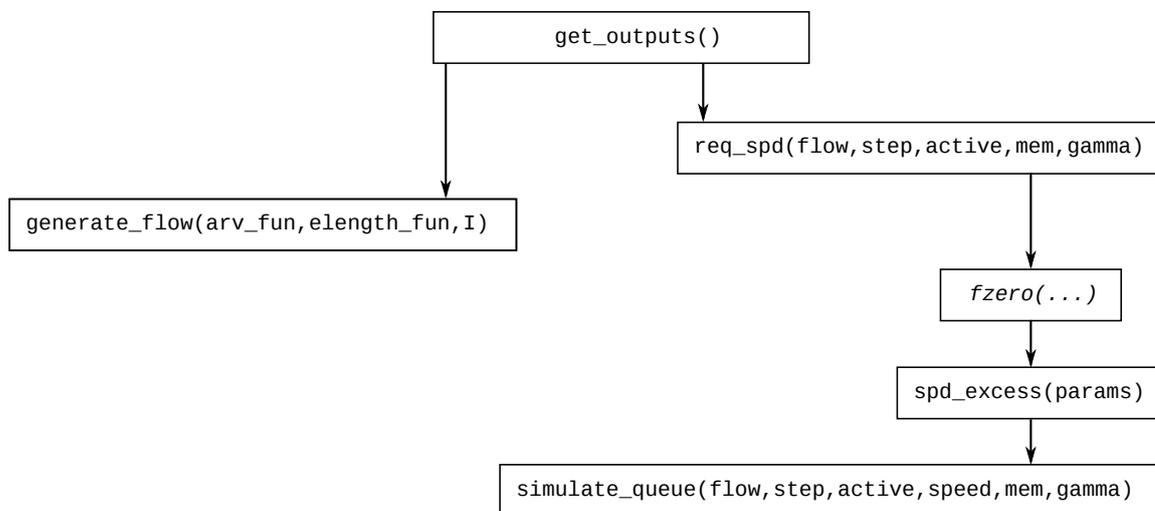


Рисунок 3.5 — Схема программы расчета показателей ЭИОР для узла сенсорной сети

3.2.2 Выбор конфигурации узла сенсорной сети с применений показателей ЭИОР

Для проверки корректной работы разработанной программы был подготовлен набор юнит-тестов. Также для дополнительного диагностирования возможных ошибок был осуществлен визуальный контроль динамики изменения различных величин в процессе моделирования. Для этого для различных значений требуемого числа реализаций и при различных ограничениях на ресурсы строились графики времени формирования сообщения, количеству сообщений в очереди, эффективной длине оставшейся части сообщения в буфере приемопередатчика и т. п. как на Рисунках 3.6, 3.7 и 3.8. После этого делалась попытка нахождения возможных нестыковок и случаев физической нереализуемости.

После отладки программы был произведен расчет ФОР для четырех имеющихся альтернатив. Соответствующие графики приведены на Рисунке 3.9. Из графика видно, что в рассматриваемом требуемого числа реализаций (в данном случае числа источников данных) ФОР заметно отличается лишь для альтерна-

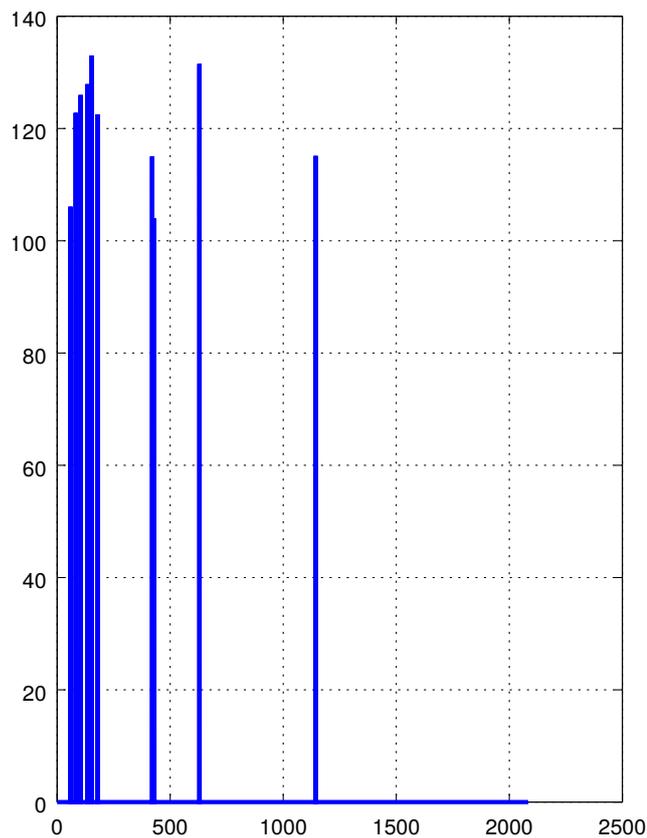


Рисунок 3.6 — Пример графика времени формирования сообщений (случай разнотипных источников данных)

тивы DigiMesh Xbee + ATmega328 (наиболее доступного по цене). Поскольку меньшие требования к пропускной способности определяют возможность работы сенсорного узла в условиях большого количества других устройств, работающих в диапазоне 2,4 ГГц, был выбран второй по доступности вариант — MeshLogic + ATmega328.

Для сравнения к четырем имеющимся альтернативам был применен другой метод оценки ЭИОР — метод анализа иерархий [42], широко применяемый на практике. Результаты применения данного метода приведены в Таблице 3.3 [71].

В данной таблице во втором столбце указан приоритет альтернативы, рассчитанный с помощью метода анализа иерархий. Согласно данному методу, предпочтение следует отдавать альтернативам с наибольшим приоритетом. Таким образом, метод анализа иерархий в качестве наиболее эффективной определил другую альтернативу — DigiMesh Xbee + ATmega2560. Расчет ФОР показывает,

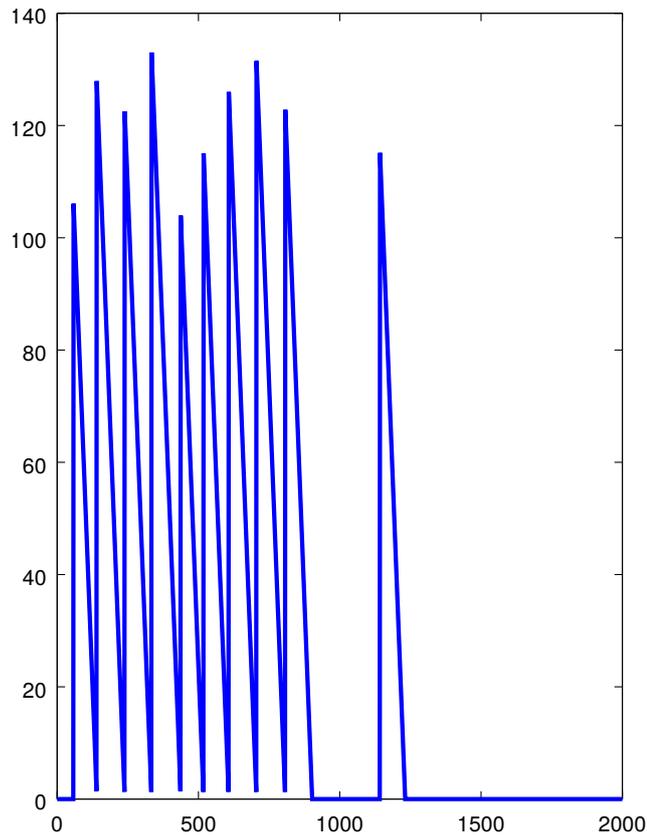


Рисунок 3.7 — Пример графика эффективной длины оставшейся части сообщения (разнотипные источники данных, максимальная пропускная способность — 10 Кбит/с, без ограничений по размеру очереди)

Таблица 3.3 – Результаты применения метода анализа иерархий для проектирования узла сенсорной сети

Конфигурация сенсорного узла	Приоритет МАИ
MeshLogic + ATmega328	0,31
DigiMesh XBee + ATmega328	0,07
MeshLogic + ATmega2560	0,21
DigiMesh XBee + ATmega2560	0,36

что при равных требованиях к пропускной способности у данный вариант сенсорного узла может обслужить на один источник данных меньше, что хуже на 10%. Кроме того, для применения метода анализа иерархий необходимо привлечение экспертов, предлагаемая же автором методика основана на результатах измерений.

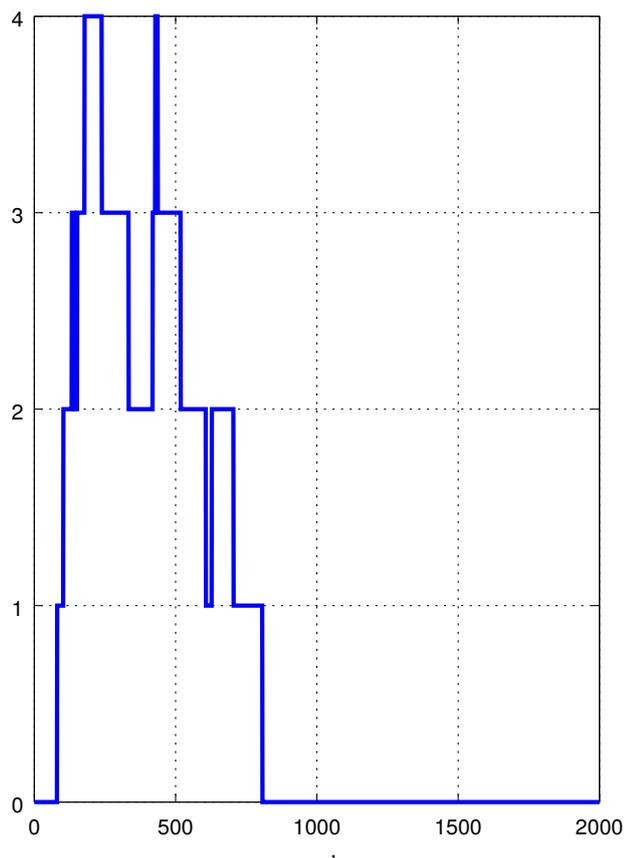


Рисунок 3.8 — Пример графика количества сообщений в очереди (разнотипные источники данных, максимальная пропускная способность — 10 Кбит/с, без ограничений по размеру очереди)

3.3 Выводы по главе 4

1. Предложена методика расчета показателей эффективности использования ограниченных ресурсов (ЭИОР) при помощи имитационного моделирования, в котором определение требуемых ограниченных ресурсов производится путем многократной имитации реализации пользовательской задачи при варьируемых ограничениях на выделенные ресурсы.

2. Практическая реализуемость предложенной методики продемонстрирована путем разработки программы для среды Matlab/GNU Octave, алгоритм работы которой основан на данной методике.

3. Предложенная методика имитационного моделирования и разработанная программа были применены при проектировании узла сенсорной сети, что поз-

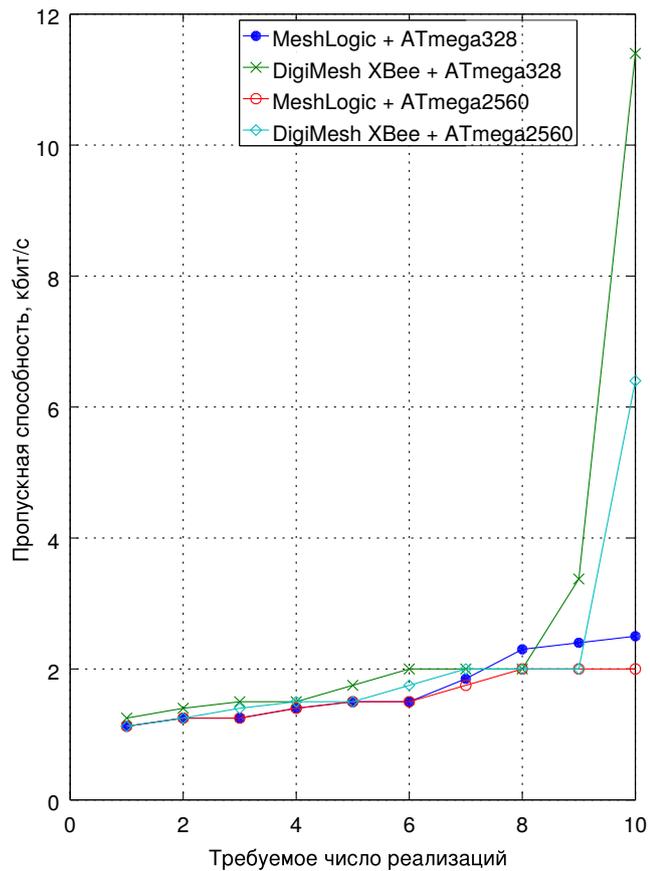


Рисунок 3.9 — Рассчитанные значения ФОР для альтернативных конфигураций узла сенсорной сети

волило узлу обслуживать на 10% больше пользователей. Также при расчете показателей ЭИОР не потребовались экспертные оценки.

Глава 4. Вопросы практической применимости разработанных моделей и методик

В данной главе рассмотрены вопросы практической применимости предложенных показателей эффективности использования ограниченных ресурсов (ЭИОР). В первом параграфе предлагается методика расчета показателей ЭИОР для тех случаев, когда проведение имитационного моделирования слишком затратно с вычислительной точки зрения. Во втором параграфе исследуются вопросы устойчивости разработанных показателей ЭИОР с точки зрения ошибок в оценке маловероятных рисков для проверки выполнения требований, поставленных в главе 1.

4.1 Методика расчета показателей ЭИОР в реальном времени

Методика расчета показателей ЭИОР при помощи имитационного моделирования, предложенный в предыдущей главе, для расчета функции ограниченных ресурсов (ФОР) в одной точке требует проведения имитации большого количества N реализаций, причем для каждой реализации расчет требуемого ограниченного ресурса производится в несколько итераций. Так, для расчета ФОР узла сенсорной сети для достижения точности в 0,1 кбит/с было необходимо провести запуск алгоритма реализации пользовательской задачи от 5 до 10 раз. В свою очередь, для проведения каждого такого запуска необходимы довольно значительные вычислительные ресурсы. Все это налагает ограничения на использование методики имитационного моделирования в тех случаях, когда значение ФОР должно быть получено для большого количества подзадач и способов действий (СД), либо когда вычисления должны проводиться в режиме реального времени.

4.1.1 Линейное приближение функции ограниченных ресурсов

Рассмотрен для начала простой случай, когда имеется лишь одна подзадача и один СД. Данный случай соответствует традиционной (неконвергентной) ИК

услуге. Пусть для какого-то типа ограниченного ресурса известно значение ФОР для заданного требуемого числа реализаций I . Буквой e обозначим минимальный необходимый ограниченного ресурс, который требуется при каждой реализации пользовательской задачи, а буквой i — разницу между требуемым числом реализаций, для которого необходимо рассчитать ФОР, и числом I . Тогда ФОР можно разложить на компоненты:

$$E = e + z(I + i), \quad (4.1)$$

где $z(i)$ — переменная компонента ФОР, равная $E(I) - e$.

Коэффициент ЭИОР тогда запишется с точностью до величины полезного эффекта следующим образом:

$$P = \frac{1}{Ie + Iz(I + i)}. \quad (4.2)$$

Разрешим данное уравнение относительно i :

$$i = y(E - e) - I, \quad (4.3)$$

где $y(t)$ — функция, обратная к $z(x)$. Далее будем называть ее *обратной функцией ограниченных ресурсов*.

Для небольших отклонений от I , то есть при малых i можно считать функцию $z(i)$ линейной и записать уравнения (4.1) следующим образом:

$$E = e + z \cdot (I + i), \quad (4.4)$$

$$i = y \cdot (E - e) - I, \quad (4.5)$$

где z и y — коэффициенты наклона ФОР и обратной ФОР в точках I и E соответственно. В этом случае будем говорить, что было использовано *линейное приближение ФОР*

4.1.2 Аналогия с электрическими цепями

В случае, если пользовательская задача состоит из нескольких подзадач и/или СД, каждая подзадача/СД характеризуется таким же набором показателей ЭИОР,

взаимосвязь между которыми описывается соотношениями вида (4.1) и (4.3). Однако между показателями ЭИОР, относящимися к различным подзадачам и СД, также имеются взаимосвязи, соотношения для которых до сих пор не были установлены. Эти взаимосвязи определяются структурой пользовательской задачи (количеством подзадач и СД в каждой подзадаче), а также самими подзадачами и СД, например, тем, как пользователь или оператор осуществляют выбор СД, и зависят ли ФОР для различных подзадач друг от друга.

Для представления таких связей целесообразно использовать графическую нотацию (схемы, диаграммы) [45]. Графическая нотация позволяет наглядно представить взаимосвязанные объекты (в данном случае подзадачи и СД), после чего получить уравнения взаимосвязи. Разумеется, для этого должен быть разработан механизм, позволяющий осуществить переход от схемы или диаграммы к уравнению.

С тем, чтобы получить графическую нотацию и соответствующий механизм, автором предлагается использовать аналогию с электрическими цепями. Такой выбор неслучаен, поскольку, во-первых, как будет сейчас показано, существует соответствие между категориями показателей ЭИОР и физическими величинами в электрических цепях, а во-вторых, электрическая аналогия активно используется в тензорном анализе сетей, который будет использован для учета взаимосвязи между показателями ЭИОР в параграфе 4.1.6.

Заметим, что уравнения (4.1) и (4.3) аналогичны закону Ома в электрической цепи, изображенной на Рисунке 4.1 и состоящей из резистора с нелинейным сопротивлением $z(x)$, последовательно соединенного с ним источника ЭДС e , вместе образующих «элементарную ячейку» C , к которой параллельно присоединены нагрузка (изображена пунктиром) и источника тока I .

В Таблице 4.1 дается соответствие между категориями показателей ЭИОР и физическими величинами в этой цепи:

При линейном приближении ФОР соответствует использованию резистора с постоянным сопротивлением.

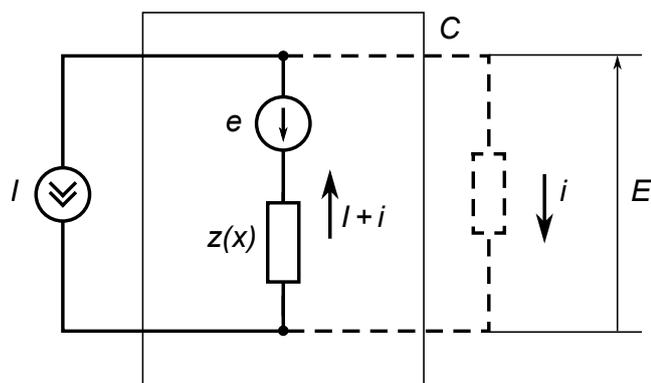


Рисунок 4.1 — Электрическая цепь, соответствующая одной подзадаче с одним СД

Таблица 4.1 – Соответствие между категориями показателей ЭИОР и физическими величинами в электрических цепях

Категория показателей ЭИОР	Физическая величина
e	ЭДС источника
I	Ток источника
E	Напряжение на нагрузке
i	Ток нагрузки

4.1.3 Традиционная ИК услуга с несколькими подзадачами

Рассмотрим теперь случай, когда пользовательская задача состоит из M подзадач, но для каждой имеется по-прежнему лишь один СД. Пусть для каждой подзадачи известны минимальный необходимый ограниченный ресурс e_m , переменная компонента ФОР $z_m(x)$ и требуемое число реализаций I_m . Поскольку реализация подзадачи признается успешной только тогда, когда реализация всей пользовательской задачи прошла успешно, величины I_m должны быть равны одному и тому же значению I_0 — требуемому числу реализаций всей пользовательской задачи:

$$I_1 = I_2 = \dots = I_M = I_0. \quad (4.6)$$

Минимальный необходимый ограниченный ресурс для пользовательской задачи также определяется как сумма по всем подзадачам:

$$e_0 = \sum_{m=1}^M e_m. \quad (4.7)$$

Однако аналогичное утверждение для функции ограниченных ресурсов всей пользовательской задачи, вообще говоря, будет неверным. Тот факт, что в одной подзадаче при данной реализации величина необходимых ограниченных ресурсов была больше, чем для другой реализации, в общем случае не означает, что необходимые ограниченные ресурсы и для всех остальных подзадач будут больше у первой реализации, чем у второй. Для упрощения дальнейшего изложения на время будем считать, что выполняется следующее предложение:

***Предложение 1.** Ранжирование реализаций по величине необходимых ограниченных ресурсов для какой-то одной подзадачи сохраняется при переходе к любой другой подзадаче.*

Подзадачи, для которых выполняется предложение 1, будем называть *взаимозависимыми*. Физический смысл взаимозависимости подзадач заключается в том, что чем сильнее окружение выбора при некоторой реализации отличается от эталонных условий для одной подзадачи, тем сильнее оно будет отличаться от эталонных условий для всех других подзадач. Из этого следует, что если для выполнения одной подзадачи были повышенные необходимые ограниченные ресурсы, то и для других подзадач они также будут повышены, то есть они связаны между собой монотонно возрастающей зависимостью. Это будет наблюдаться, если необходимые ограниченные ресурсы для разных подзадач определяются одними и теми же факторами. Предложение 1 не выполняется, когда разные подзадачи подвержены влиянию независимых друг от друга факторов; если это так, одновременное появление нескольких неблагоприятных факторов будет маловероятно, поэтому требуемые ограниченные ресурсы будут меньше. В дальнейшем предложение 1 будет заменено более общим.

Если принять предложение 1, то переменная компонента ФОР для всей пользовательской задачи $z_0(x)$ будет равна сумме переменных компонент ФОР всех

подзадач:

$$z_0(x) = \sum_{m=1}^M z_m(x). \quad (4.8)$$

То же самое будет верно для ФОР в целом:

$$E_0 = \sum_{m=1}^M E_m. \quad (4.9)$$

Рассчитаем ФОР каждой подзадачи по формуле (4.1):

$$E_m = e_m + z_m(I_m + i_m). \quad (4.10)$$

С учетом (4.7), (4.8) и (4.9) получаем:

$$E_0 = \sum_{m=1}^M e_m + \sum_{m=1}^M z_m(I_0 + i_0). \quad (4.11)$$

Уравнения (4.10) и (4.11) соответствуют электрической цепи, изображенной на Рисунке 4.2, в которой элементарные ячейки C_1, C_2, \dots, C_M соединены в последовательную цепь, к которой, в свою очередь, параллельно подключается источник тока и нагрузка.

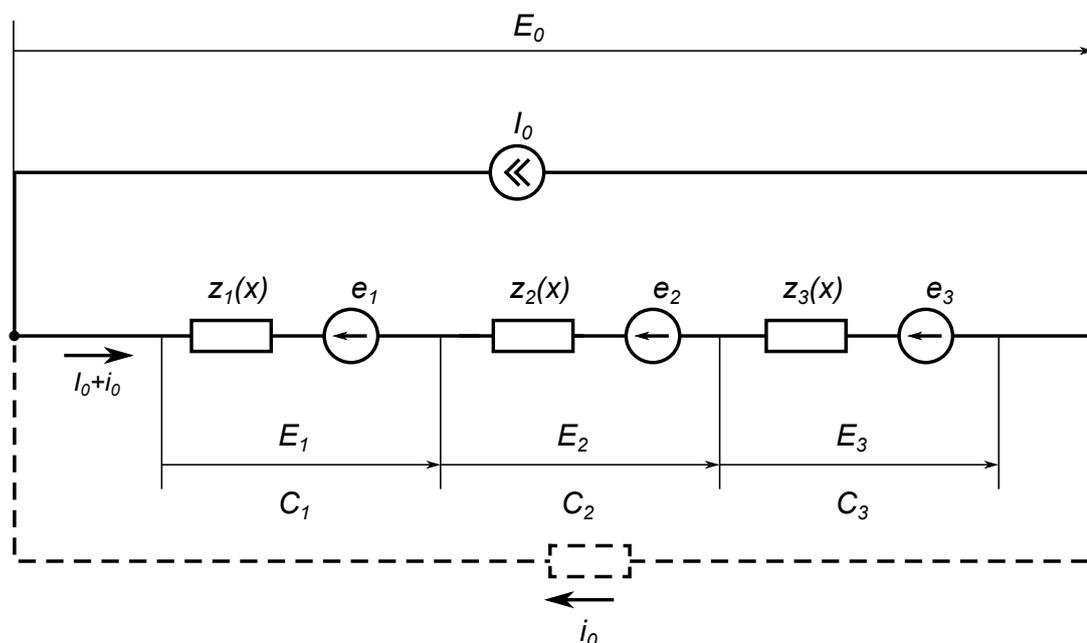


Рисунок 4.2 — Электрическая цепь, соответствующая нескольким подзадачам

В электрической аналогии введение величин e_0 и z_0 соответствует замене элементарных ячеек, обозначающих подзадачи (на Рисунке 4.2 — C_1, C_2 и C_3)

одной эквивалентной элементарной ячейкой с сопротивлением z_0 и ЭДС источника e_0 . Формулы (4.7) и (4.8) соответствуют правилам расчета параметров эквивалентной элементарной ячейки при последовательном соединении.

Если для всех подзадач применяется линейное приближение ФОР, то согласно уравнению (4.8), для всей пользовательской задачи она также будет применима. При этом коэффициент наклона ФОР пользовательской задачи будет равен сумме коэффициентов наклона ФОР отдельных подзадач z_m :

$$z_0 = \sum_{m=1}^M z_m. \quad (4.12)$$

4.1.4 Конвергентная ИК услуга с одной подзадачей

Более сложным случаем по сравнению с предыдущим является пользовательская задача, состоящая из единственной подзадачи, при этом для этой подзадачи имеется K различных СД. Данный случай соответствует конвергентной ИК услуге.

Пусть для каждого СД известны минимальные необходимые ограниченные ресурсы e_k , обратная ФОР $y_k(x)$ и требуемое число реализаций I_k . Как и ранее, необходимо установить соотношения, связывающие различные показатели ЭИОР.

Прежде всего, необходимо отметить, что вероятность π_k выбора k -го СД зависит от следующих факторов:

1. Окружения выбора, в котором проходит текущая реализация. При каждой реализации субъект может стремиться выбирать тот СД, который будет наиболее эффективен при текущем окружении выбора. В свою очередь, этот выбор определяется [3]:

- осведомленностью субъекта о текущем окружении выбора;
- убеждениями субъекта относительно наиболее эффективного СД при текущем окружении выбора, а также предпочтениями субъекта. Например, в силу привычки субъект может всегда выбирать один и тот же СД, независимо от доступности других СД;

2. Набора рассматриваемых СД. Как отмечено в [42], при добавлении альтернативы (в данной случае альтернативами являются СД) к рассматриваемому набору, или после удаления из набора какой-либо альтернативы, ранжирование других альтернатив по их предпочтительности может измениться.

Это означает, что при наличии нескольких СД для одной подзадачи ФОР каждого СД определяется не только свойствами данного СД, но также свойствами субъекта и других рассматриваемых СД. Если субъект при каждой реализации применяет наиболее подходящий для текущего окружения выбор СД, затраты ограниченных ресурсов будут меньше по сравнению со случаем, когда СД выбираются без учета окружения выбора.

Для определения ФОР для подзадачи необходимо, таким образом, знать, как субъект производит выбор СД. Чтобы не усложнять рассуждения, явно учитывая в уравнениях вышеперечисленные факторы, будем пока считать, что выполняется следующее предложение:

***Предложение 2.** Каждый СД предназначается для некоторого класса окружений выбора. Данные классы не пересекаются, то есть окружение выбора, возникающее при каждой реализации соответствуют либо лишь одному, либо ни одному из СД из имеющихся. Субъект при каждой реализации безошибочно определяет, к какому классу относится текущее окружение выбора, и выбирает соответствующий СД либо отказывается от реализации, если ни один из СД не соответствует текущему окружению выбора.*

СД, соответствующие данному предложению, будем называть *взаимонезависимыми*. Выбор одного из несколько взаимонезависимых СД зависит от окружения выбора, и не зависит от доступности других СД. В дальнейшем предложение 2, как и предложение 1 будет заменено более общим.

ФОР для подзадачи получим следующим образом. Зафиксируем какое-либо значение E_0 , большее величины минимального необходимого ограниченного ресурса каждого СД:

$$E_0 \geq E_{min} = \max_k(e_k) \quad (4.13)$$

Согласно предложению 2, для k -го СД наличие или отсутствие других альтернатив скажется только на тех реализациях, в которых окружение выбора не соответствует данному СД. Однако поскольку при таких условиях k -й СД никогда не выбирается, ФОР для него должна быть одной и той же независимо от имеющихся СД. Следовательно, можно записать уравнение, аналогичное (4.3), для каждого СД в отдельности:

$$i_k = y_k(E_0 - e_k) - I_k. \quad (4.14)$$

Величина i для всей пользовательской задачи i_0 равно сумме величин i_k по всем СД:

$$i_0 = \sum_{k=1}^K i_k. \quad (4.15)$$

Тогда с учетом (4.14) получаем:

$$i_0 = \sum_{k=1}^K y_k(E_0 - e_k) - I_0, \quad (4.16)$$

где I_0 — суммарное требуемое число реализаций подзадачи по всем СД:

$$I_0 = \sum_{k=1}^K I_k. \quad (4.17)$$

Введем функцию

$$f(E_0) = \sum_{k=1}^K y_k(E_0 - e_k). \quad (4.18)$$

Тогда, согласно (4.16):

$$f(E_0) = i_0 + I_0. \quad (4.19)$$

Все функции $y_k(t)$ в сумме (4.18) являются строго монотонно возрастающими и определены для всех $t > 0$. Следовательно, для функции $f(E_0)$ существует обратная функция $f^{-1}(x)$:

$$f^{-1}(f(E_0)) = E_0. \quad (4.20)$$

Данная функция определена при всех $x \geq f(E_{min})$. Так как все $y_k(t)$ положительны при $t > 0$, она будет определена в нуле, только если выполняется условие:

$$e_1 = e_2 = \dots = e_K. \quad (4.21)$$

В этом случае $f^{-1}(0) = e_1$.

Из (4.19) и (4.20) получаем:

$$E_0 = f^{-1}(i_0 + I_0). \quad (4.22)$$

Таким образом, $f^{-1}(x)$ является функцией ограниченных ресурсов. Ее значение при $x = 0$ определено, если только выполняется условие (4.21). В этом случае будем считать, что величина минимального необходимого ограниченного ресурса для подзадачи равна величине минимального необходимого ограниченного ресурса первого СД (или любого другого, так как они все одинаковы). Для удобства дальнейших рассуждений и в общем случае представим $f^{-1}(x)$ в виде суммы постоянной и переменной компонент ФОР. Для этого продолжим функцию $f^{-1}(x)$ на промежуток $[0, f(E_{min}))$, после чего определим:

$$e_0 = f^{-1}(0), \quad (4.23)$$

$$z_0(x) = f^{-1}(x) - f^{-1}(0). \quad (4.24)$$

Продолжение функции $f^{-1}(x)$ может быть произведено разными способами. В частности, можно взять постоянное значение $f^{-1}(x) = E_{min}$ для всех $x \in [0, f(E_{min})]$. Ниже будет показано, как в случае, если для всех СД используется линейное приближение ФОР ограниченных ресурсов, продолжить $f^{-1}(x)$ таким образом, чтобы ко всей подзадаче также была применима линейное приближение ФОР.

Перечислим еще раз последовательность шагов для определения значений e_0 и $z_0(x)$ для случая одной подзадачи с несколькими СД:

1. Составляется функция $f(E_0)$ как сумма смещенных по оси абсцисс функций ограниченных ресурсов для отдельных СД по формуле (4.18).

2. Для этой функции находится обратная $f^{-1}(x)$ для $x \geq f(E_{min})$
3. Искомое уравнение получается подстановкой найденной $f^{-1}(x)$ в уравнение (4.22).
4. Функция $f^{-1}(x)$ продолжается на значения $x \in [0, f(E_{min}))$.
5. Определяются значения e_0 и $z_0(x)$ по формулам (4.23) и (4.24) соответственно.

Проделаем эту последовательность шагов для случая, когда для всех СД используется линейное приближение ФОР. Если обратный коэффициент наклона ФОР k -го СД равен y_k , то функция $f(E_0)$ будет иметь следующий вид:

$$f(E_0) = E_0 \sum_{k=1}^K y_k - \sum_{k=1}^K y_k e_k. \quad (4.25)$$

Обозначим

$$y_0 = \sum_{k=1}^K y_k \quad (4.26)$$

и найдем $f^{-1}(x)$:

$$f^{-1}(x) = \frac{x + \sum_{k=1}^K y_k e_k}{y_0} = \frac{x}{y_0} + \frac{\sum_{k=1}^K y_k e_k}{y_0}. \quad (4.27)$$

Следовательно, ФОР всей пользовательской задачи также является линейной. Доопределим ее для всех значений x . Тогда мы можем определить величину минимального необходимого ограниченного ресурса e_0 по формуле (4.28):

$$e_0 = \frac{\sum_{k=1}^K y_k e_k}{y_0}. \quad (4.28)$$

Она равна, таким образом, сумме величин минимального необходимого ограниченного ресурса отдельных СД, взвешенной при помощи обратных коэффициентов наклона ФОР всех СД. Коэффициент наклона ФОР для подзадачи равен $\frac{1}{y_0}$.

Уравнения (4.14) и (4.16) соответствуют электрической цепи, изображенной на Рисунке 4.3, в которой элементарные ячейки C_1, C_2, \dots, C_K соединены в параллельно друг другу, а также источнику тока и нагрузке.

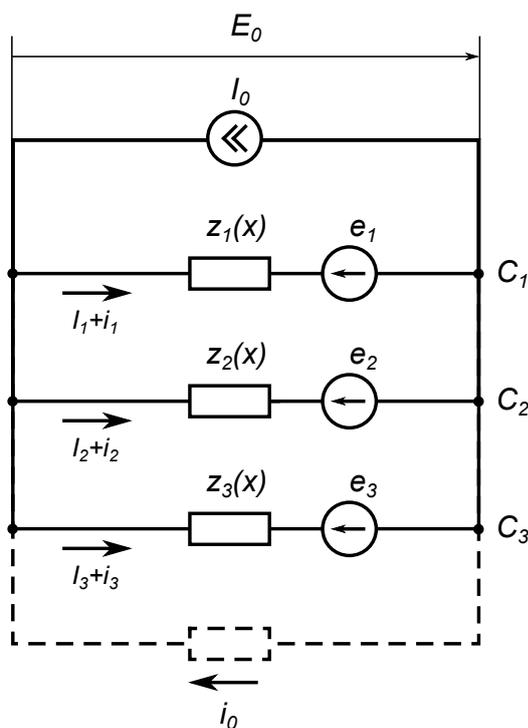


Рисунок 4.3 — Электрическая цепь, соответствующая нескольким СД

Аналогично случаю нескольких подзадач, введение величин e_0 и y_0 соответствует замене элементарных ячеек, обозначающих СД, одной эквивалентной элементарной ячейкой с проводимостью y_0 и ЭДС источника e_0 , рассчитываемых по формулам параллельного соединения: (4.26) и (4.28) соответственно. В данном случае, однако, это применимо лишь для линейного приближения ФОР.

4.1.5 Конвергентная ИК услуга с несколькими подзадачами

Рассмотрим теперь общий случай, когда пользовательская задача состоит из произвольного числа M подзадач, и для каждой подзадачи рассматривается произвольное число СД, равное K_m для m -й подзадачи. Будем считать, что все подзадачи взаимозависимы, а все СД взаимонезависимы.

Каждую подзадачу мы можем проанализировать отдельно по уже рассмотренной схеме «одна подзадача, несколько СД» и получить для нее переменную компоненту ФОР и минимальный необходимый ограниченный ресурс, обозначив их соответственно $z_{0,m}$ и $e_{0,m}$ для m -й подзадачи (формулы (4.24) и (4.23)). Таким образом, мы заменим все СД для каждой подзадачи одним «эквивалент-

ным» СД, для которого известны все показатели ЭИОР всех категорий. Это дает возможность проанализировать теперь всю пользовательскую задачу по схеме «несколько подзадач с одним СД», которая также уже была рассмотрена выше. В результате можно составить уравнения для требуемого ограниченного ресурса всей пользовательской задачи E_0 (4.11) и отдельных подзадач $E_{0,m}$ (4.10). После этого, вновь переходя к отдельным подзадачам, можно составить уравнения для величины i каждого СД (4.14). Таким образом, можно составить все необходимые уравнения.

Соответствующая электрическая цепь изображена на Рисунке 4.4.

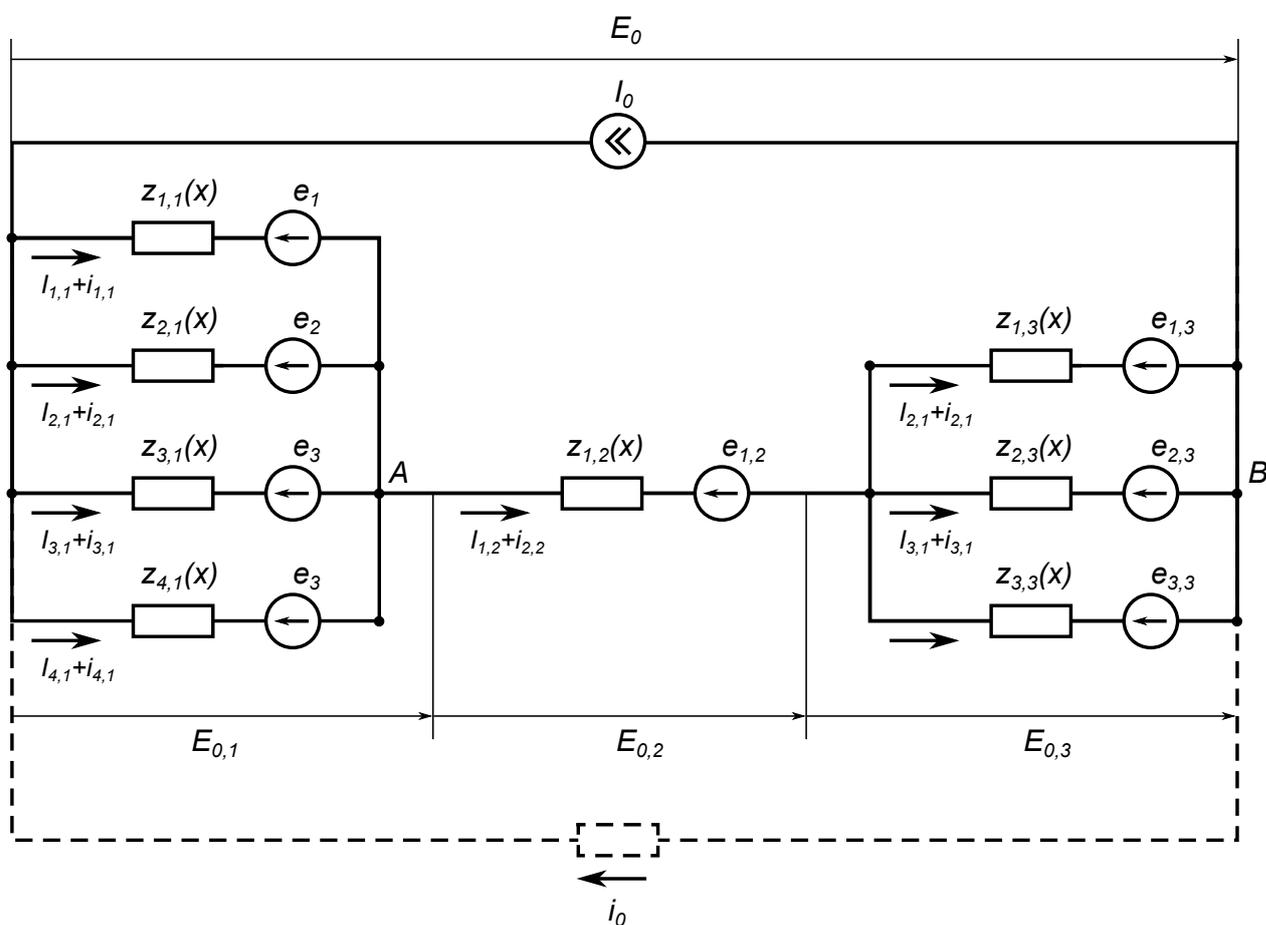


Рисунок 4.4 — Электрическая цепь, соответствующая общему случаю

Как было показано выше, соответствие между показателями ЭИОР и параметрами электрической цепи заключается в том, что они описываются одними и теми же уравнениями. Поэтому любые соотношения, установленные для электрической цепи, будут также верны и для модели конвергентной ИК услуги.

Это относится, в частности, к правилам Кирхгофа. Первое правило, примененное, например, к узлам A и B на Рисунке 4.4, соответствует уравнениям (4.15) и (4.17). Второе правило, примененное к одной элементарной ячейке или ко всей цепи соединенных элементарных ячеек даст уравнения (4.10) и (4.11) соответственно. Кроме того, мы можем применить его к произвольному замкнутому контуру в цепи, охватывающему внешнюю нагрузку. В терминологии разработанной модели оно будет означать, что сумма требуемых ограниченных ресурсов всех СД, применяемых при той или иной реализации, требуемому ограниченному ресурсу всей пользовательской задачи.

В дальнейшем аналогия с электрическими цепями будет использована при применении к модели конвергентной ИК услуги тензорного анализа сетей, позволяющий формально выводить уравнения для сложных систем без необходимости их рассмотрения каждый раз заново как нового объекта исследований. Как будет показано в следующем параграфе, при отказе от предложений 1 и 2, сделанных выше для упрощения изложения, пользовательские задачи будут представляться электрическими цепями, имеющими более сложную структуру, чем представлена на Рисунке 4.4, поэтому применение тензорного анализа сетей станет необходимым.

Подводя итог настоящему параграфу, отметим, что выведенные автором уравнения устанавливают взаимосвязь между всеми категориями показателей ЭИОР, предложенными в модели конвергентной ИК услуги. Однако при их выводе были использованы предложения 1 и 2, которые далеко не всегда выполняются в реальных конвергентных ИК услугах, потому они являются лишь промежуточным шагом, необходимым для учета взаимосвязи показателей ЭИОР. В следующем параграфе автором будут выведены уравнения для общего случая конвергентной ИК услуги, в которой могут существовать разнообразные взаимосвязи между показателями, относящимся к различным СД и подзадачам.

4.1.6 Учет взаимосвязи показателей ЭИОР

В предыдущем параграфе при выводе уравнений был сделан ряд упрощающих предложений. Ниже будет показано, что данные предложения могут быть существенно ослаблены в тех случаях, когда применяется линейное приближение ФОР. Мы будем применять аппарат тензорного анализа сетей (далее ТАС), позволяющий при помощи двух «постулатов обобщения» [26] осуществлять переход от уравнений простых систем, описывающих «элементарные ячейки», к уравнениям сложных систем, в которых составные части могут взаимодействовать друг с другом разными способами [26; 39; 40; 58; 66; 67].

Постулат первого обобщения. «Элементарная ячейка» для ИК услуги, состоящая из одной подзадачи и одного СД, уже была рассмотрена нами ранее, и для нее было установлено уравнение вида (4.1). Применение первого постулата обобщения состоит в том, что рассматривается «*примитивная сеть*», то есть N отдельных, не связанных друг с другом «элементарных ячеек». Это соответствует N подзадачам с одним СД у каждой, причем задачи не связаны друг с другом, то есть любая из них может быть выполнена независимо от остальных. Если для каждого СД применимо линейное приближение ФОР, то N уравнений можно объединить в одно матричное:

$$\mathbf{E} = \mathbf{e} + \mathbf{z}(\mathbf{I} + \mathbf{i}), \quad (4.29)$$

где \mathbf{E} , \mathbf{e} , \mathbf{I} , \mathbf{i} — векторы N -мерного пространства, компоненты которых являются соответствующими показателями, а \mathbf{z} — матрица размером $N \times N$ с диагональными элементами, равными коэффициентам наклона ФОР разных пользовательских задач. Постулат первого обобщения ставит вопрос о физическом смысле недиагональных элементов данной матрицы.

Выпишем в виде скалярного уравнения какую-либо строку матричного уравнения (4.29), например, первую:

$$E_1 = e_1 + z_{11}(I_1 + i_1) + z_{12}(I_2 + i_2) + \dots + z_{1n}(I_n + i_n). \quad (4.30)$$

Из этого уравнения видно, что добавление недиагональных элементов матрицы \mathbf{z} позволяет учесть зависимость ФОР некоторой пользовательской задачи от числа реализаций не только этой задачи, но и других пользовательских задач. Такая зависимость может существовать, например, если при реализации всех подзадач используется одна и та же техническая система, подверженная износу или случайным сбоям. Тогда часть выделенного ограниченного ресурсов, связанная с данной системой, будет зависеть от суммарного требуемого числа реализаций всех задач $\sum_{n=1}^N i_n$. В общем случае, ФОР есть некоторая функция n переменных:

$$E = E(i_1, i_2, \dots, i_n). \quad (4.31)$$

Уравнение (4.30) означает, что к этой функции применено линейное приближение в отношении всех аргументов. Недиагональные элементы матрицы \mathbf{z} равны нулю, если пользовательские задачи не только не связаны друг с другом, но также имеют независимые друг от друга ФОР. Наоборот, равенство всех недиагональных элементов диагональному в какой-то строке означает, что требуемый ограниченный ресурс для соответствующей пользовательской задачи зависит только от суммарного требуемого числа реализаций всех задач.

Постулат второго обобщения. В качестве следующего шага ТАС предлагает применение «постулата второго обобщения», при котором матричное уравнение (4.29) заменяется тензорным:

$$\mathbf{E} = \mathbf{e} + \mathbf{z} \cdot (\mathbf{I} + \mathbf{i}) \quad E_\alpha = e_\alpha + z_{\alpha\beta}(I^\beta + i^\beta), \quad (4.32)$$

то есть \mathbf{E} и \mathbf{e} объявляются ковариантным тензорами, \mathbf{I} и \mathbf{i} — контравариантными тензорами, и \mathbf{z} — дважды ковариантным тензором. Отличие тензорного уравнения от матричного заключается в том, что первое верно одновременно в большом количестве *системы координат*. В ТАС каждая система координат соответствует какому-либо способу соединения элементарных ячеек в сеть, а в модели конвергентной ИК услуги — какому-либо способу перехода от N несвязанных пользовательских задач к одной задаче с N способами действий, распределенными по нескольким подзадачам.

Будем обозначать переменные, относящиеся к новой системе координат, буквами со штрихами. Для осуществления перехода к новой системе координат в ТАС используется *тензор преобразования* $\mathbf{C} = C_{\alpha'}^{\alpha}$. Чтобы определить компоненты тензора преобразования, необходимо записать уравнения, связывающие число реализаций в различных элементарных ячейках и записать коэффициенты перед новыми переменными в виде матрицы [26]:

$$\mathbf{i} = \mathbf{C} \mathbf{i}'. \quad (4.33)$$

После нахождения тензора преобразования новые переменные могут быть найдены по формулам:

$$\mathbf{I}' = \mathbf{C}^{-1} \cdot \mathbf{I}, \quad (4.34)$$

$$\mathbf{e}' = \mathbf{C}^T \cdot \mathbf{e}, \quad (4.35)$$

$$\mathbf{z}' = \mathbf{C}^T \cdot \mathbf{z} \cdot \mathbf{C}. \quad (4.36)$$

Таким образом, даже если в примитивной сети недиагональных элементов в тензоре \mathbf{z} не было, они появятся в соединенной цепи. Как показано в [26], в этом случае уравнения, выведенные по формулам (4.34)–(4.36) идентичны полученным ранее уравнениям (4.9), (4.7) (4.12), (4.17), (4.28) и (4.26). Применение ТАС, однако, оправдывается тем, что он дает возможность рассматривать более общие случаи за счет модификации тензора \mathbf{z} . Покажем, каким образом это можно сделать.

Взаимосвязь между подзадачами и СД. Пусть предложение 1 не выполняется, то есть высокое значение необходимого ограниченного ресурса одной подзадачи не обязательно означают высокое его значение для других подзадач. В частности, может оказаться, что необходимые ограниченные ресурсы для каждой подзадачи являются независимыми случайными величинами, и при этом ограниченный ресурс при необходимости могут произвольно распределяться между подзадачами.

Тогда величина необходимого ограниченного ресурса, суммарно требуемая для реализации всей пользовательской задачи, с высокой вероятностью будет

меньше, чем сумма требуемых ограниченных ресурсов, рассчитанных отдельно для каждой подзадачи. Данное свойство случайных величин известно как эффект диверсификации [98]. Например, если имеется две подзадачи, необходимый ограниченный ресурс для каждой из которых подчиняется нормальному распределению, то коэффициент наклона ФОР для всей пользовательской задачи не будет равен сумме коэффициентов наклона ФОР отдельных подзадач (Рисунок 4.5).

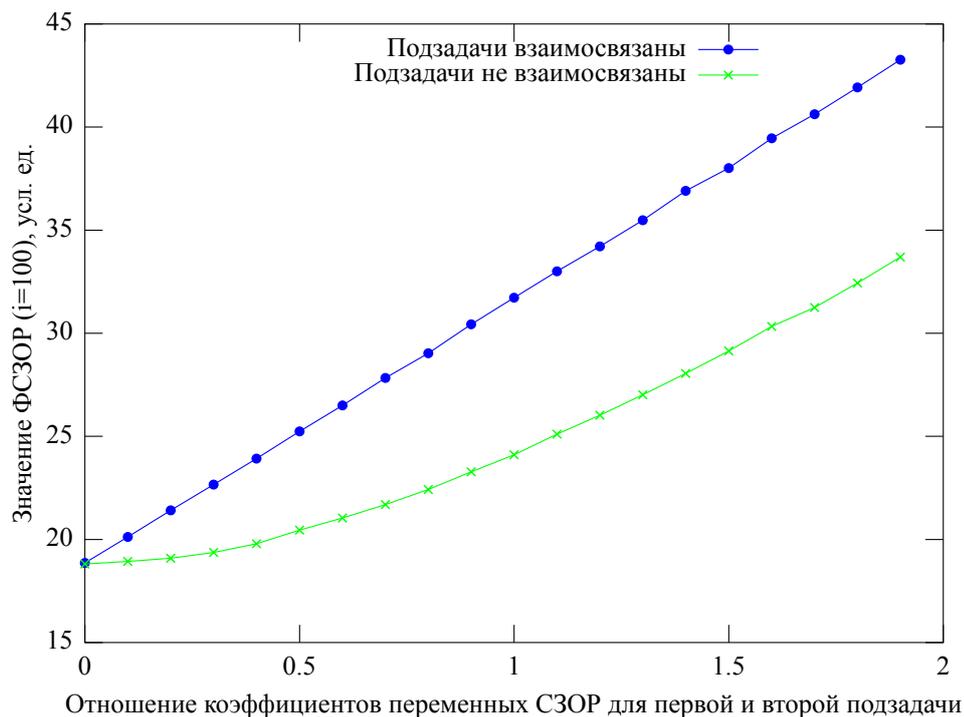


Рисунок 4.5 — Значение ФОР ($i = 100$, $\alpha = 95\%$) для пользовательской задачи, состоящей из двух подзадач с нормально распределенной величиной необходимого ограниченного ресурса. Для первой подзадачи $\mu = 3$, $\sigma = 5$, для второй — $\mu = 3$, σ меняется от 0 до 10.

Эффект диверсификации учтем, внося в ФОР каждой подзадачи поправку, зависящую от числа реализаций других подзадач. Если приблизить эту поправку линейной функцией, мы получим уравнение (4.30) с отрицательными элементами матрицы z_{12}, \dots, z_{1n} .

Пусть теперь не выполняется предложение 2, то есть для одного и того же окружения выбора могут применяться различные СД. В таком случае уменьшение числа реализаций какого СД приведет к увеличению числа реализаций для

других СД, соответствующих данной подзадаче. Это соответствует положительным недиагональным элементам матрицы \mathbf{z} .

Пример использования тензорного анализа сетей. Пусть пользовательская задача разбита на две подзадачи, причем для первой из них имеется два СД, для второй — один (Рисунок 4.6 а). Величины необходимого ограниченного ресурса подзадач являются независимыми случайными величинами, СД взаимозависимы. Прimitивная сеть изображена на Рисунке 4.6 б).

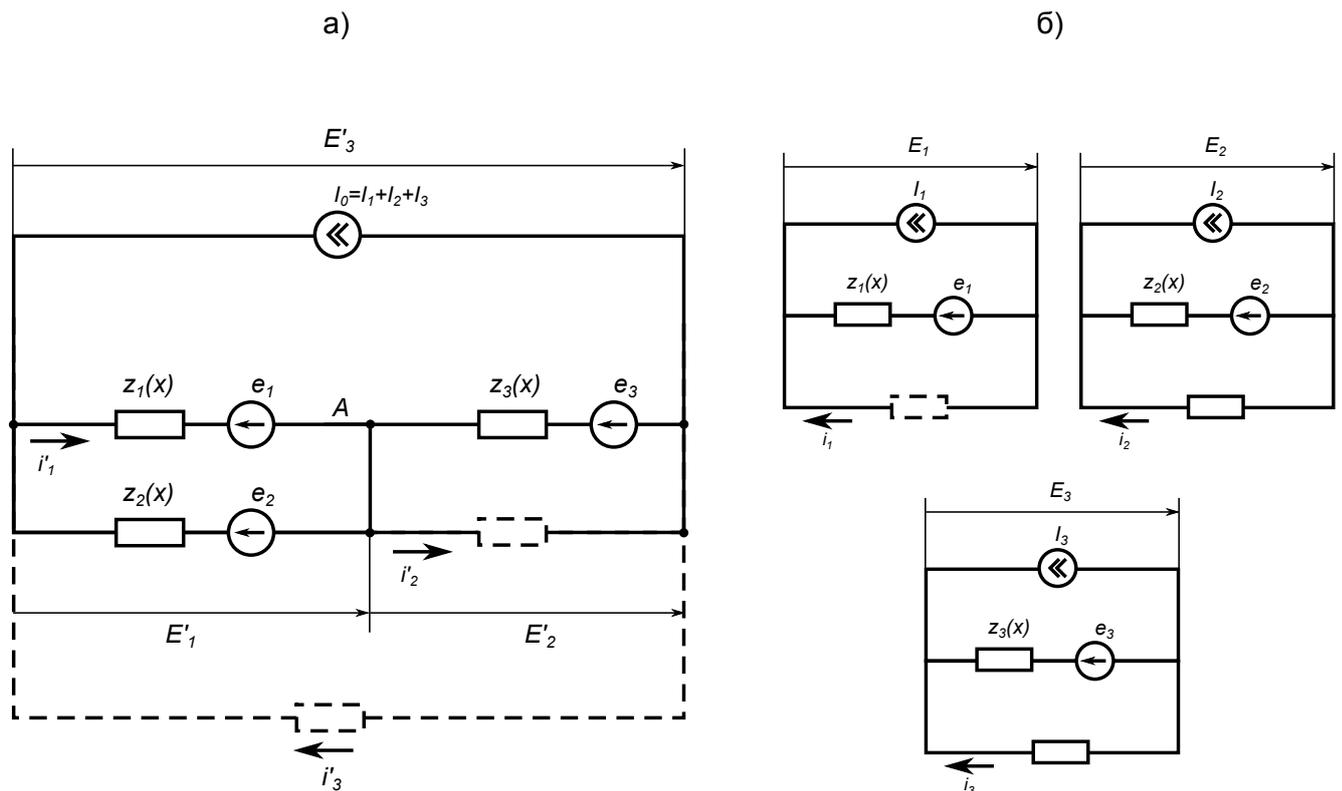


Рисунок 4.6 — а) Электрическая сеть, соответствующая пользовательской задаче

б) Прimitивная сеть

Компоненты тензоров для примитивной сети:

$$\mathbf{e} = \begin{bmatrix} e_1 & e_2 & e_3 \end{bmatrix} \quad (4.37)$$

$$\mathbf{I} = \begin{bmatrix} I_1 & I_2 & I_3 \end{bmatrix} \quad (4.38)$$

$$\mathbf{z} = \begin{bmatrix} Z_{11} & 0 & Z_{13} \\ 0 & Z_{22} & Z_{23} \\ Z_{31} & Z_{32} & Z_{33} \end{bmatrix} \quad (4.39)$$

Приравняем старые и новые значения i :

$$\begin{aligned} i^1 &= i'^1 \\ i^2 &= -i'^1 + i'^3 \\ i^3 &= -i'^2 + i'^3 \end{aligned} \quad (4.40)$$

Компонента i'_2 тензора i известна и равна нулю, так как число реализаций первой и второй подзадачи должно быть одинаковым. Тогда

$$\mathbf{i}' = \begin{array}{|c|c|c|} \hline i'_1 & 0 & i'_3 \\ \hline \end{array} \quad (4.41)$$

Компонента i_3 является заданной величиной (параметром), а i_1 — переменной.

В тензоре \mathbf{E}' компонента E'_1 равна нулю (так как ось $1'$ является контурной), E'_2 и E'_3 — переменными величинами.

$$\mathbf{E}' = \begin{array}{|c|c|c|} \hline 0 & E_2 & E_3 \\ \hline \end{array} \quad (4.42)$$

Из уравнения (4.33) получим компоненты тензора перехода:

$$\mathbf{C} = \begin{array}{|c|c|c|} \hline 1 & 0 & 0 \\ \hline -1 & 0 & 1 \\ \hline 0 & -1 & 1 \\ \hline \end{array} \quad (4.43)$$

и обратного тензора перехода:

$$\mathbf{C}^{-1} = \begin{array}{|c|c|c|} \hline 1 & 0 & 0 \\ \hline 1 & 1 & -1 \\ \hline 1 & 1 & 0 \\ \hline \end{array} \quad (4.44)$$

Тензор \mathbf{z} преобразуется по закону дважды ковариантного тензора (4.36), поэтому его компоненты для соединенной сети получим по формуле:

$$\mathbf{z}' = \begin{array}{|c|c|c|} \hline Z_{11} + Z_{22} & -Z_{13} + Z_{23} & Z_{13} - Z_{22} - Z_{23} \\ \hline -Z_{31} + Z_{32} & Z_{33} & -Z_{32} - Z_{33} \\ \hline -Z_{22} + Z_{31} - Z_{32} & -Z_{23} - Z_{33} & Z_{22} + Z_{23} + Z_{32} + Z_{33} \\ \hline \end{array} \quad (4.45)$$

Компоненты тензора \mathbf{e}' найдем по формуле (4.35):

$$\mathbf{e}' = \begin{array}{|c|c|c|} \hline e_1 - e_2 & -e_3 & e_2 + e_3 \\ \hline \end{array} \quad (4.46)$$

Тензор требуемого числа реализаций \mathbf{I}' находится по формуле (4.34):

$$\mathbf{I}' = \boxed{I_1 \mid I_1 + I_2 - I_3 \mid I_1 + I_2} \quad (4.47)$$

Вновь используя то обстоятельство, что число реализаций подзадач должно быть одним и тем же ($I_1 + I_2 = I_3$) получаем:

$$\mathbf{I}' = \boxed{I_1 \mid 0 \mid I_3} \quad (4.48)$$

Теперь тензорное уравнение $\mathbf{E}' = \mathbf{e}' + \mathbf{z}' \cdot (\mathbf{I}' + \mathbf{i}')$ можно расписать покомпонентно:

$$0 = e_1 - e_2 + (Z_{11} + Z_{22})(I_1 + i_1) + (-Z_{13} + Z_{23})i_2 + \\ + (Z_{13} - Z_{22} - Z_{23})(I_3 + i_3) \quad (4.49)$$

$$E_2 = -e_3 + (-Z_{31} + Z_{32})(I_1 + i_1) + Z_{33}i_2 + \\ + (-Z_{32} - Z_{33})(I_3 + i_3) \quad (4.50)$$

$$E_3 = e_2 + e_3 + (-Z_{22} + Z_{31} - Z_{32})(I_1 + i_1) + (-Z_{23} - Z_{33})i_2 + \\ + (Z_{22} + Z_{23} + Z_{32} + Z_{33})(I_3 + i_3) \quad (4.51)$$

Данные уравнения связывают показатели ЭИОР, относящиеся к различным категориям, различным подзадачам и СД. Они выражают переменные E_2 , E_3 и i_1 через другие величины, считающиеся известными или заданными в качестве параметров.

Таким образом, способ, предложенный в настоящем параграфе, позволяет составить уравнения взаимосвязи показателей ЭИОР, относящихся к различным категориям, а также различным подзадачам и СД, для произвольных традиционных и конвергентных ИК услуг. Это позволяет рассчитать значения одних показателей ЭИОР, если другие известны или задаются в качестве параметра. Данный способ будет использоваться далее для расчета показателей ЭИОР в режиме реального времени.

4.1.7 Расчет показателей ЭИОР в режиме реального времени

Предположим, что с помощью имитационного моделирования мы получили ФОР в окрестности некоторой точки $I_{k,m}$ для каждого СД и каждой подзадачи. Тогда мы можем получить коэффициенты наклона всех ФОР в этой точке и применить к ним линейное приближение. Затем, используя аппарат тензорного анализа сетей, можно составить систему линейных алгебраических уравнений, отражающую взаимосвязи между показателями ЭИОР. Число уравнений в системе равно количеству имеющихся СД. Поскольку решение таких систем уравнений при текущем уровне развития вычислительной техники может осуществляться даже на недорогих микроконтроллерах (например, ATmega328) в течение сотен микросекунд, то расчет неизвестных показателей ЭИОР на основании заданных значений других показателей может в реальном времени для оперативного распределения ограниченных ресурсов.

Схема методики расчета показателей ЭИОР в режиме реального времени приведена на Рисунке 4.7.

Методика, описанная в настоящей главе, была использована при разработке программы для микроконтроллера сенсорных узлов, осуществляющих управление людскими потоками с целью повышения эффективности использования имеющихся путей эвакуации.

4.2 Проверка устойчивости

Покажем, что применение разработанных показателей ЭИОР для принятия решений дает более устойчивые результаты при наличии маловероятных рисков по сравнению с таким широко используемым методом многокритериальной оценки ЭИОР, как МАИ.

В МАИ приоритеты альтернатив по выгодам, возможностям, издержкам и рискам объединяются в отношении BOCR (Benefits, Opportunities, Costs and

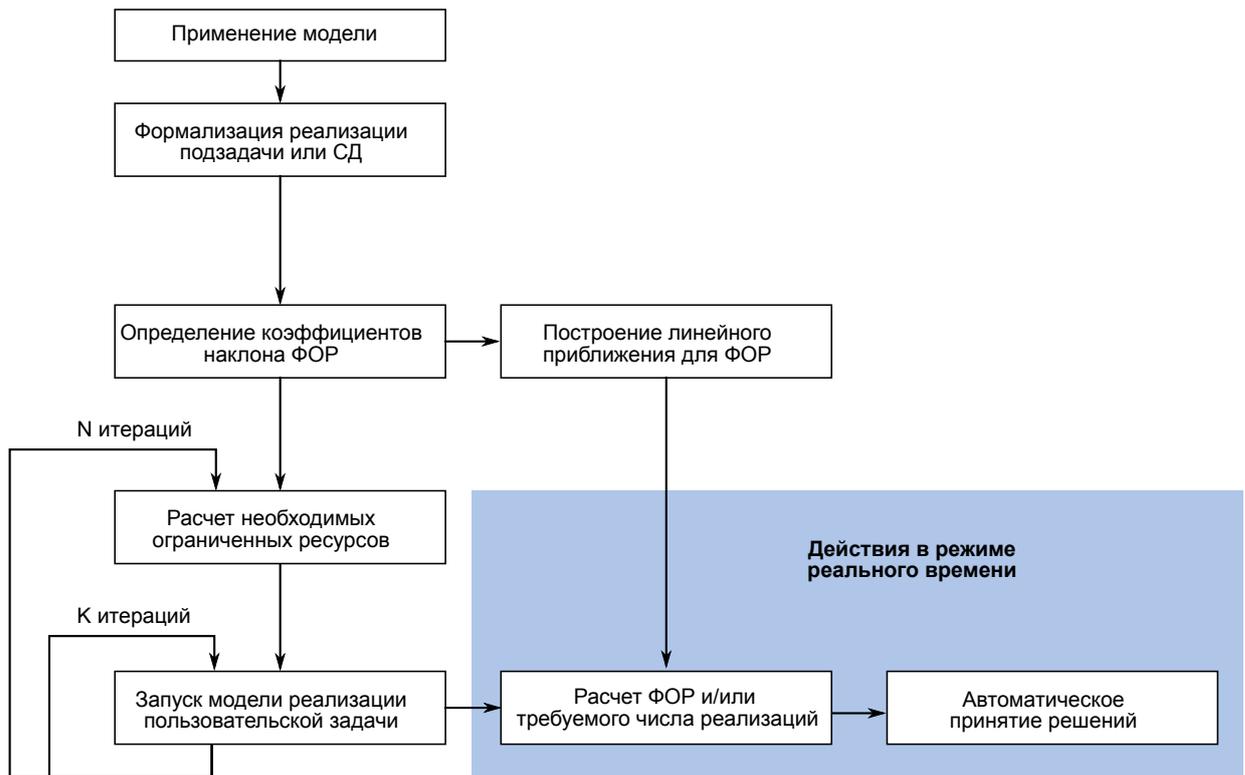


Рисунок 4.7 — Схема методики расчета показателей ЭИОР в режиме реального времени

Risks) [42]:

$$\text{BOCR} = (\text{Выгоды} \times \text{Возможности}) / (\text{Издержки} \times \text{Риски}). \quad (4.52)$$

Таким образом, все имеющиеся сведения о возможных рисках должны быть агрегированы в число, уменьшающее приоритет альтернативы. В связи с этим возникает проблема, как именно получить это число. Одним из часто используемых, но при этом ошибочных [86, с. 79–80] способов, является присвоение риску вербальной оценки, например, «низкий», «средний» или «высокий». Поскольку четких определений «высокого» или «низкого» риска не существует, разные эксперты склонны давать совершенно различные вербальные оценки для одних и тех же событий, что делает такие оценки крайне ненадежными.

Другим способом является подсчет степени риска R как произведения вероятности неуспеха и предположительной величины необходимого ограниченного ресурса в случае неуспеха, или, в случае нескольких возможных неблагоприятных исходов, математическое ожидание необходимого ограниченного ресурса при их наступлении. С данным способом связано как минимум две проблемы.

Во-первых, он не позволяет различать события, имеющие сравнительно высокую вероятность и несущие небольшой ущерб, и маловероятные события, несущие катастрофический ущерб. Ущерб при таких событиях (например, гибель людей при ошибке в технологической системе) может многократно превысить весь полученный полезный эффект от использования технологии. Кроме того, вероятность событий второго типа крайне тяжело поддается оценке из-за отсутствия достаточного количества накопленных знаний о редких событиях. С этим связана другая проблема выражения степени риска в виде числа. Как отмечается в [101], зачастую ошибки при оценке вероятности редких событий составляют несколько порядков, причем практически всегда ошибка происходит в сторону недооценки риска.

Поскольку в уравнении (4.52) приоритет альтернативы обратно пропорционален вероятности риска, ошибка в определении R приведет к ошибке той же величины в приоритете альтернативы, в результате чего ранжирование альтернатив оказывается неустойчивым по отношению к ошибкам при учете маловероятных событий. Рассмотрим теперь, как эти ошибки отражаются на функции ограниченных ресурсов (ФОР).

Величина риска, особенно для маловероятных событий, чаще всего подчиняется степенному закону распределения, в частности, распределению Парето:

$$F_X(x) = 1 - \frac{\theta_m}{\theta^k}, \quad \theta \geq \theta_m, \quad (4.53)$$

где $\theta_m > 0$, $k > 0$ — параметры распределения. Если уровень доверия равен α , ФОР для такого распределения будет иметь вид:

$$E(I) = \frac{\theta_m}{I(1 - \alpha^{1/I})^{1/k}}. \quad (4.54)$$

Математическое ожидание для распределения Парето вычисляется по формуле:

$$R = \frac{k\theta_m}{k - 1}. \quad (4.55)$$

Выразим k через R :

$$k = \frac{R}{R - \theta_m}. \quad (4.56)$$

Подставив (4.56) в (4.54), получим:

$$E(I) = \frac{\theta_m}{I(1 - \alpha^{1/I})^{1-\theta_m/R}}. \quad (4.57)$$

Для рисков, имеющих высокий потенциальный ущерб, выполняется условие

$$R \gg \theta_m. \quad (4.58)$$

При этом условии ФОР, вычисленная по формуле (4.57), устойчива даже к большим ошибкам R . Чтобы показать это, обозначим $\frac{\theta_m}{R}$ как β и разложим правую часть уравнения (4.57) в ряд Тейлора по β :

$$E(I) = \theta_m \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n \ln^n(1 - \alpha^{1/I})}{I(-1 + \alpha^{1/I})n!} \beta^n. \quad (4.59)$$

Таким образом, с высокой точностью (точность тем выше, чем больше I), выполняется:

$$E(I) = \frac{x_m}{I(1 - \alpha^{1/I})(1 + \beta \ln(1 - \alpha^{1/I}))}. \quad (4.60)$$

Поскольку выполняется условие (4.58), при достаточно малом β и I , не превышающим некоторого фиксированного значения, член, зависящий от β , практически не влияет на значение $E(I)$, поэтому недооценка риска не сказывается значительным образом на функцию $E(I)$.

ФОР прямо зависит от параметра θ_m , который характеризует величину последствий риска (но не его вероятность). Однако, как отмечается в [101], оценка последствия риска поддаются предсказанию с гораздо большей точностью по сравнению с малыми вероятностями.

Условие (4.58) означает, что необходимый ограниченный ресурс, при реализации, связанной с маловероятным негативным событием, превысят величину необходимого ограниченного ресурса, наблюдавшуюся до наступления этого события. Проведенный анализ показывает, что если исследуемая система обладает подобным свойством, и известен масштаб последствий от негативного события, для построения ФОР при небольших значениях аргумента (которые представляют наибольший интерес при принятии решений в краткосрочной и среднесрочной перспективе) не нужно знать точное значение вероятности данного события,

поскольку разработанные показатели ЭИОР устойчивы с точки зрения ошибок в определении вероятности маловероятных событий.

4.3 Выводы по главе 4

1. Предложена методика расчета показателей ЭИОР, основанный на тензорном анализе сетей и предназначенный для тех случаев, когда вычисление показателей эффективности использования ограниченных ресурсов (ЭИОР) является слишком затратным с вычислительной точки зрения.

2. Установлена аналогия между уравнениями связи категорий показателей ЭИОР и уравнениями, описывающими электрические цепи. Каждой пользовательской задаче ставится в соответствие конкретную электрическую сеть, так, чтобы каждому показателю ЭИОР соответствовала бы какая-либо физическая величина. Данная аналогия дает основания для использования тензорного анализа сетей.

3. Показано, что между подзадачами и СД могут существовать связи, выражающиеся в зависимости функции ограниченных ресурсов (ФОР), построенной для одной подзадачи или СД, от переменных, относящихся к другой подзадаче или СД. Для учета этих связей предложено использовать способ учета взаимосвязи показателей ЭИОР, основанный на тензорном анализе сетей. Данный способ позволяет представить все возможные уравнения, возникающие при различных связях между подзадачами и СД, в виде одного тензорного уравнения. Переход к какому-либо конкретному уравнению осуществляется при помощи тензора перехода, для вычисления которого установлена четко определенная последовательность шагов. Все это дает возможность рассчитывать показатели ЭИОР для пользовательской задачи на основании значений этих показателей для отдельных подзадач или СД без необходимости заново проводить имитационное моделирование.

4. Проведен сравнительный анализ устойчивости результатов, получаемых при использовании предлагаемых показателей ЭИОР и широко известного метода анализа иерархий (МАИ). В МАИ ошибка в определении приоритета альтер-

нативы будет того же порядка, что и ошибка в оценке вероятности возникновения риска. Показывается, что для рисков, имеющих малую вероятность, но большой ущерб в случае возникновения, ФОР в области малых значений аргумента слабо зависит от оценки вероятности риска, что обеспечивает устойчивость предлагаемых показателей ЭИОР с точки зрения ошибок в определении вероятности маловероятных событий.

Глава 5. Внедрение результатов работы

В настоящей главе представлены результаты внедрения разработанных моделей и методик к различным практическим задачам. Эти задачи выбраны таким образом, чтобы продемонстрировать применимость результатов работы на разных уровнях, в соответствии с требованиями, сформулированными в параграфе 1.4. В первом параграфе главы рассматриваются вопросы оценки эффективности использования ИКТ в Приднестровской Молдавской Республике с учетом планов по внедрению конвергентных ИК услуг. Во втором параграфе оценивается эффективность использования ограниченных ресурсов (ЭИОР) в новом классе беспроводных сенсорных сетей — сенсорных управленческих сетях (СУС), на примере одной из конвергентных инфокоммуникационных (ИК) услуг, предоставляемых СУС — индивидуализированным управлением при чрезвычайных ситуациях. В третьем параграфе приводятся результаты применения разработанных показателей ЭИОР для выбора канала доставки высокоточной эфемеридно-временной информации при оказании различных конвергентных ИК услуг.

5.1 Проведение оценки степени эффективности использования ИКТ в Приднестровской Молдавской Республике с учетом планов по внедрению конвергентных ИК услуг

5.1.1 Постановка задачи

Как было показано в главе 1, системы показателей эффективности использования ИКТ, предлагаемые международными организациями, ориентированы в первую очередь на оценку технологической инфраструктуры и интенсивности использования ИКТ и гораздо меньше внимания уделяют воздействию ИКТ на жизнь населения. По этой причине их одних недостаточно для контроля процесса развития ИКТ в каждом государстве. Развитые страны имеют собственную систему показателей, соответствующую национальной стратегии развития ИКТ, выработанную на основе многолетнего опыта управления отраслью ИКТ

и учитывающую местные особенности. В развивающихся странах разработка национальной системы показателей является актуальной задачей, поскольку такая система является эффективным средством управления развитием отрасли ИКТ, позволяющим сконцентрировать усилия государственных органов и частных компаний на решении наиболее приоритетных задач.

Особенную важность это имеет для государств, экономика которых находится в процессе трансформации и не избавлена от характерных для этого процесса проблем неустойчивости. Данное обстоятельство послужило одной из главных причин, по которой результаты работы были внедрены именно в Приднестровской Молдавской Республики (ПМР). Помимо этого, наличие тесных связей ФГУП НИИР с Приднестровским Государственным Университетом имени Т. Г. Шевченко обеспечили наличие быстрой обратной связи при проведении исследования.

В последнее время в экономике ПМР обострились существенные проблемы [5], которые повлекли увеличение доли социально незащищенных граждан. В то же время, именно эта категория граждан может получить наибольший полезный эффект от оказания конвергентных ИК услуг, поскольку конвергенция ИК услуг позволяет ликвидировать многие барьеры, препятствующие доступу к ИК услугам, и тем самым без существенных затрат повысить уровень жизни населения.

В этой связи автором было предложено при оценке эффективности использования ИКТ в ПМР в первую очередь сконцентрироваться на конвергентных ИК услугах, ориентированных на социально незащищенных граждан [4].

5.1.2 Применение информационно-управленческой сети на базе цифрового телевидения для получения необходимой статистической информации

Одним из мероприятий по обеспечению доступа социально незащищенных граждан к конвергентным ИК услугам, проводимых правительством ПМР, является реализация проекта информационно-управленческой сети (ИУС) на базе

цифрового телевидения [34; 35; 48; 79] (в реализации проекта принимал участие автор). В ИУС применяется централизованно-иерархическая модель предоставления услуг, в которой все операции, связанные с оказанием услуги, проходят через *центр доверенного интегратора* (ЦДИ). ЦДИ не только является посредником при взаимодействии рядовых объектов (пользователей и операторов конвергентных ИК услуг), но и контролирует качество оказания услуги, а в случае низкого качества несет ответственность. Таким образом, формируется *доверенная среда*, которая наиболее хорошо подходит для конвергентных ИК услуг, предназначенных социально незащищенным гражданам [17; 55]. Схема организации ИУС представлена на Рисунке 5.1.

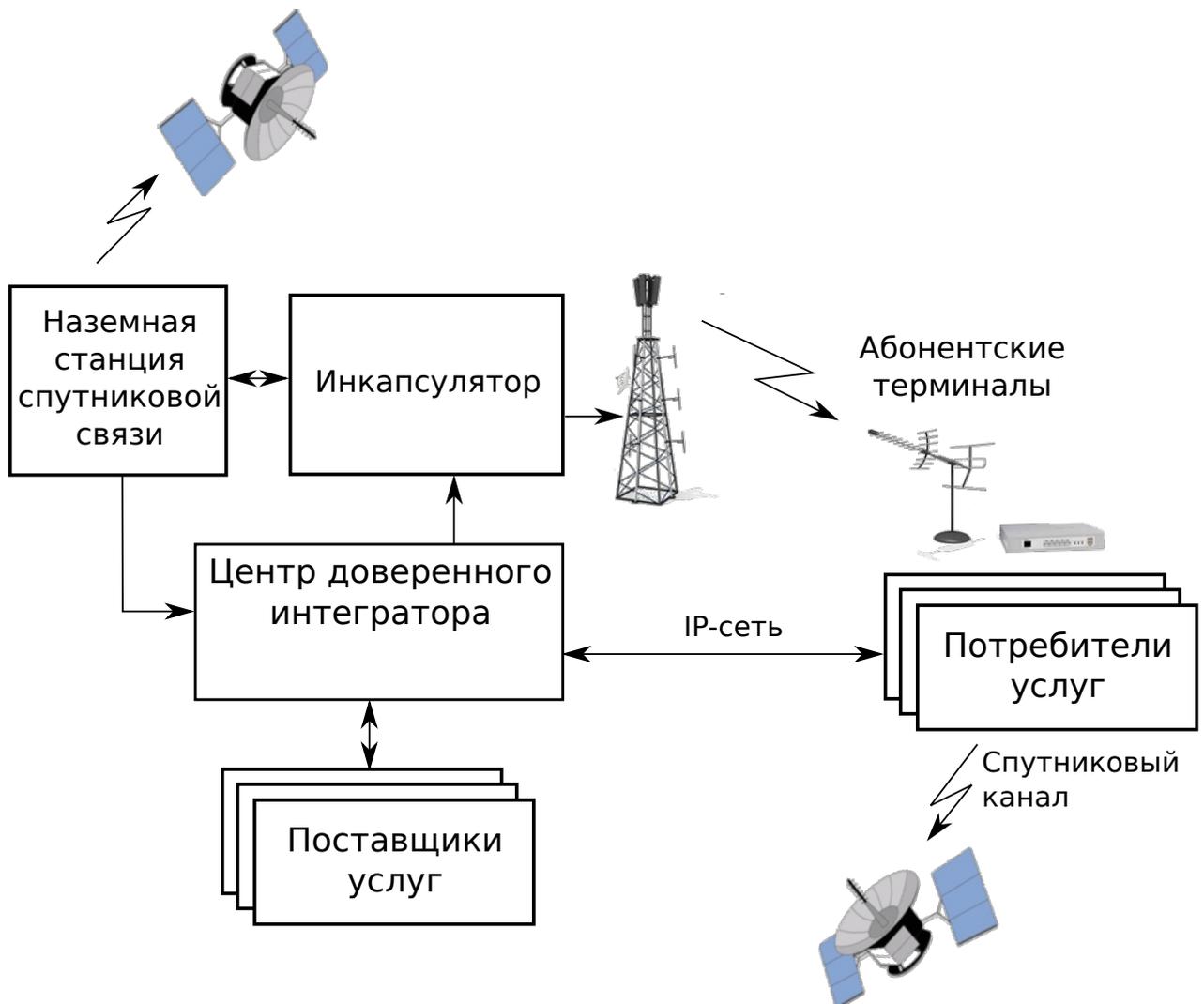


Рисунок 5.1 — Схема организации ИУС

ЦДИ отвечает за выполнение следующих задач [34]:

- организация одно- или двустороннего канала передачи информации между пользователями и операторами конвергентных ИК услуг для обмена информацией, индивидуальной для каждого пользователя, в режиме «точка-точка» (адресная передача информации);
- организация доставки данных, которые могут понадобиться для оказания услуг всем пользователям, в режиме «точка-многоточие» (циркулярная передача информации);
- организация доставки данных в режиме «точка-многоточие» для пользователей, относящихся к определенной категории (циркулярно-адресная передача информации). Большинство информации в ИУС передается именно в этом режиме;
- приведение получаемых от различных операторов конвергентных ИК услуг данных к соответствию стандартам как по форме, так и по содержанию в автоматическом и/или ручном режиме;
- фильтрация лишней информации в тех случаях, когда операторы конвергентных ИК услуг по каким-либо причинам ее предоставляют. Примером является вырезание рекламных и декоративных элементов при получении данных в виде веб-страниц;
- проверка пользователей и операторов конвергентных ИК услуг, желающих стать участниками данной ИУС на соответствие принятым в ней критериям качества, а также принятие решений об удалении из ИУС тех участников, которые перестали соответствовать этим критериям;
- прием и рассмотрение обращений пользователей, связанных с некачественным оказанием услуг, оперативная компенсация материальных потерь пользователям и принятие мер к операторам конвергентных ИК услуг, вплоть до приостановки деятельности.

Автором было предложено наделить ЦДИ еще одной функцией — сбором и анализом статистической информации. Благодаря тому, что через ЦДИ проходят все основные транзакции между пользователем и оператором ИК услуги, создается возможность получения точных и детальных сведений о реальных условиях предоставления ИК услуг. В частности, существует возможность определить ве-

личину необходимых ограниченных ресурсов ограниченных ресурсов различных типов: времени, затраченного пользователем, времени занятия каналов связи и вычислительного оборудования оператора конвергентной ИК услуги, времени работы обслуживающего персонала. В свою очередь, эта информация позволяет рассчитать функцию ограниченных ресурсов (ФОР) для различных подзадач и СД, применяемых при оказании различных конвергентных ИК услуг для широкого диапазона значений аргумента. В ЦДИ хранятся достаточно подробные сведения о каждом пользователе, и существует возможность определять ФОР для различных групп пользователей по территориальному, социальному, финансовому, языковому, возрастному или другому признаку.

ЦДИ обеспечивает достоверность и однородность собираемых данных по конвергентным ИК услугам, предназначенным для социально незащищенных граждан. По этой причине автором предлагается накопленную статистическую информацию не только использовать для оценки ЭИОР отдельных участников ИУС, но и применять для других задач оценки ЭИОР по этим услугам. В частности, предлагается проводить анализ влияния внедрения новой технологии на уровень жизни социально незащищенных граждан, сравнивая величину ФОР для новой технологии и для ИУС.

5.1.3 Показатели эффективности использования ИКТ

Для ПМР был разработан перечень показателей эффективности использования ИКТ, целью которого являлось измерение текущего (фактического) состояния развития ИКТ в государстве, а также оценка возможных вариантов развития ИКТ для формирования предложений по выбору наиболее оптимального [53; 60; 79; 100]. Впервые было предложено использования для оценки эффективности использования ИКТ показателей, связанных с оказанием конвергентных услуг электронного правительства. Целесообразность включения в перечень объектов мониторинга услуг электронного правительства обусловлена тем, что эффективное оказание этих услуг, с учетом постоянно повышающихся требований к срокам и качеству их оказания, невозможно без высокой эффективности исполь-

зования ИКТ. Таким образом, услуги электронного правительства, являясь лишь одной из многочисленных областей применения ИКТ, дают обобщенную характеристику эффективности использования ИКТ в целом.

Предлагаемые показатели были основаны на расчете величины требуемых ограниченных ресурсов при оказании услуг электронного правительства. Рассматривались ограниченные ресурсы двух типов, причем оба типа были связаны со временем, затрачиваемым пользователем. Первый тип ограниченных ресурсов — время непосредственного участия пользователей при получении услуг электронного правительства. Данное время получается путем суммирования времени, в течение которого пользователь получает информации о порядке предоставления услуги, собирает подтверждающие документы, заполняет различные формы, подает заявление и т. п. В эту величину не входит время обработки документов в государственном органе исполнительной власти, проведения необходимых экспертиз, а также время на выполнение других шагов, не требующих внимания со стороны пользователя во время своего выполнения. Второй тип ограниченных ресурсов — полное время оказания услуги электронного правительства. В него входит время обработки документов в государственном органе, проведения необходимых экспертиз, информационного взаимодействия с иными органами власти, третьими лицами.

Соответственно, был предложен следующий перечень показателей эффективности использования ИКТ:

1. Количество оказанных услуг электронного правительства (по типам).
2. Доля государственных услуг, оказанных в электронной форме (по типам).
3. Время непосредственного участия пользователей при получении одной услуги электронного правительства определенного типа.
4. Время непосредственного участия пользователей при получении одной государственной услуги определенного типа в традиционной форме.
5. Полное время оказания услуги электронного правительства определенного типа.
6. Полное время оказания государственной услуги определенного типа в традиционной форме.

7. Индекс снижения времени непосредственного участия пользователей при получении государственных услуг.

8. Индекс полного времени оказания государственных услуг.

В модели конвергентной ИК услуги показатели 1 и 2 соответствуют требуемому числу реализаций, показатели 3–6 — функции ограниченных ресурсов, а показатели 7 и 8 — коэффициенту ЭИОР. В перечень были включены показатели, связанные с оказанием государственных услуг в традиционной форме для сравнения, а также потому, что внедрение ИКТ также оказывает влияние на время оказания этих услуг за счет ускорения процессов взаимодействия между органами власти.

Также были разработаны методики измерения предложенных показателей. Текущие значения показателей определяются на основании измерений (проведение обследования порталов электронного правительства, статистическая обработка базы данных оператора электронного правительства и реестров записи фактов оказания государственных услуг). Ожидаемые значения показателей в случае выбора того или иного варианта развития ИКТ требовали экспертной оценки из-за крайне сложного механизма влияния ИКТ на услуги электронного правительства. Тем не менее, в применяемой до этого методике измерения эффективности использования ИКТ все показатели должны были оцениваться экспертами. Таким образом, применение результатов диссертационной работы позволило сократить число необходимых экспертных оценок вдвое.

5.1.4 Применение «больших данных» для расчета показателей эффективности использования ИКТ

Для сбора показателей эффективности использования ИКТ автором было предложено использовать два типа источников: центры доверенного интегратора ИУС и данные серверов портала электронного правительства. Второй источник данных связан с применением с применением «больших данных». Этим термином называют совокупности данных с возможным экспоненциальным ростом,

которые слишком велики, слишком неформатированы и слишком неструктурированы для анализа традиционными методами анализа данных [81].

Прилагательное «большой» относится в первую очередь не к объему, а к сложности информации, с которой приходится иметь дело. Так, большими данными не являются обширные массивы однотипных данных, которые поддаются анализу обычными статистическими методами. С другой стороны, поток информации в несколько гигабайт в час, считающийся относительно небольшим по современным меркам, относится к «большим данным», если эти данные неполны, противоречивы или получены от разных источников [81].

В отличие от данных, получаемых из ЦДИ в ИУС, «большие данные» характеризуются низкой достоверностью. Данное свойство «больших данных» определяет и ограничивает сферу их использования. Применение их для регулярных процедур принятия решений будет означать высокую вероятность ошибки вследствие получения ложной или неверной интерпретации истинной информации. В связи с этим, «большие данные» предлагается использовать для определения величины необходимых ограниченных ресурсов при сбоях, ошибках, авариях, действий злоумышленников и других редких, нетипичных ситуациях, для которых при проектировании изучаемой системы не были предусмотрены специальные процедуры сбора данных [57]. Эти сведения необходимы для расчета ФОР, которая, как отмечалось в параграфе 4.2, устойчива к ошибкам в определении вероятности, но требует довольно точного знания о величине ФОР при маловероятных событиях. «Большие данные» могут применяться для организации расследования по каждому случаю возникновения нетипичной ситуации, имеющего целью установить ущерб пользователя, а также долю этого ущерба, которую удалось компенсировать благодаря администрированию услуги.

Предложенный вариант использования «больших данных» позволит существенно повысить качество администрирования конвергентных ИК услуг и обеспечит справедливую компенсацию ущерба пользователю в случае некачественного их оказания. Это особенно важно для социально незащищенных граждан, которые весьма чувствительны к потере даже минимальной денежной суммы и несвоевременному исполнению заказа [5].

5.1.5 Практические рекомендации параграфа 5.1

Практические рекомендации по результатам работы, изложенным в настоящем параграфе, включают в себя:

1. Организация измерения восьми предложенных показателей эффективности использования ИКТ в Приднестровской Молдавской Республике, а также в государствах-членах Таможенного союза и Единого экономического пространства в рамках «Методики измерения эффективности использования ИКТ», разрабатываемой совместно с Всероссийским научно-исследовательским институтом проблем вычислительной техники и информатизации (ФГУП ВНИИПВТИ).

2. Расширение перечня показателей развития ИКТ, измеряемых в странах Азиатско-Тихоокеанского экономического сотрудничества (АТЭС) путем подготовки проектного предложения от Администрации связи России “Indicators of information society development in the APEC region” (предложение принято на 49-м заседании подгруппы по телекоммуникациям АТЭС).

3. Использование центра доверенного интегратора информационно-управленческой сети для сбора и анализа статистической информации.

5.2 Оценка эффективности сенсорных управленческих сетей

5.2.1 Сенсорные управленческие сети

В марте 2013 г. МСЭ-Т принял рекомендацию Y.2222 «Сенсорные управленческие сети и их приложения в сетях следующего поколения» [105], разработанную во ФГУП НИИР с участием автора [54]. Данная рекомендация определяет новый класс беспроводных сенсорных сетей — *сенсорные управленческие сети* (СУС). Основной отличительной особенностью СУС является модель предоставления ИК услуг [93]. В обычных беспроводных сенсорных сетях множество автономных датчиков используется для измерения физических параметров окружающей среды и передачи результатов измерений на центральный сервер, где

происходит анализ данных, принятие и обработка пользовательских запросов (Рисунок 5.2).

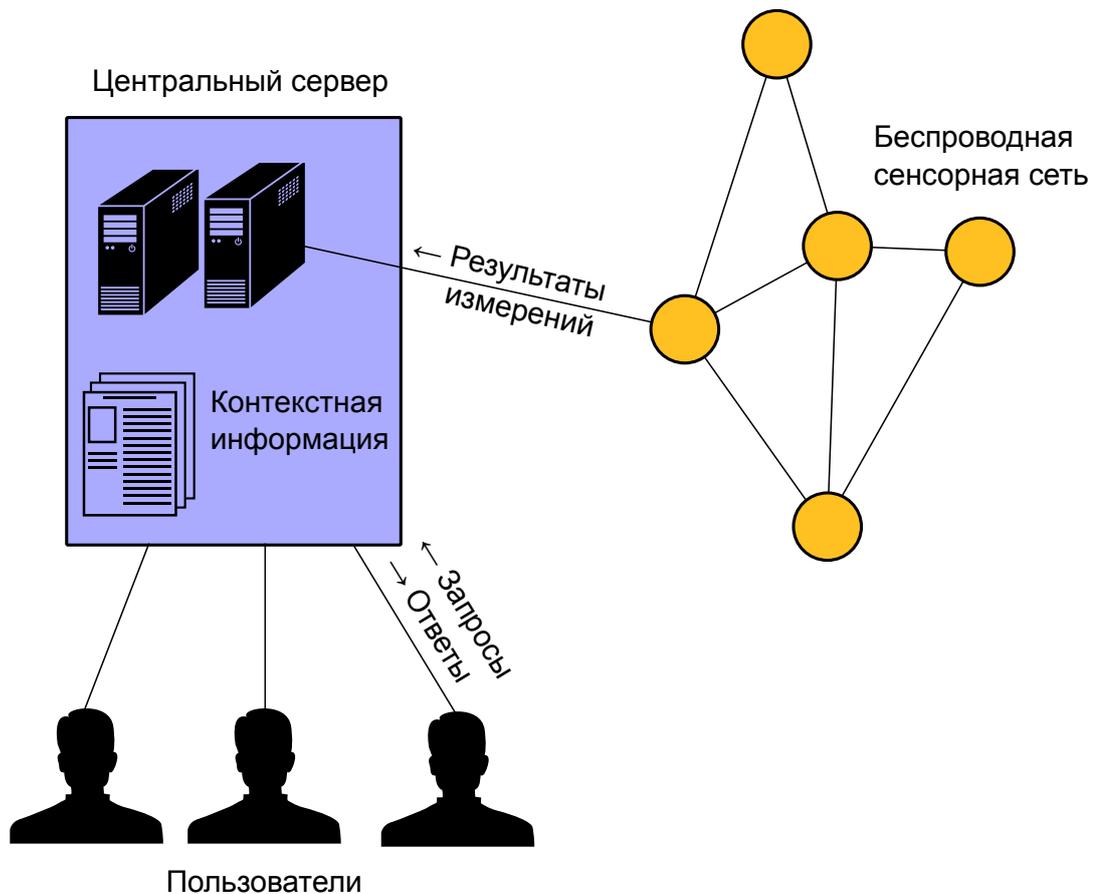


Рисунок 5.2 — Модель предоставления ИК услуг в обычных беспроводных сенсорных сетях

Подобная модель предоставления услуг обладает рядом недостатков: низкой масштабируемость, недостаточной надежностью, проблемами при необходимости обработки данных в режиме реального времени с низкими задержками [93]. Для устранения данных недостатков в СУС применяется *децентрализованная модель предоставления ИК услуг*. В СУС автономные датчики, называемые *мотами*, не только производят измерения и отправляют их результаты на другие узлы, но и обрабатывают полученную информацию. В результате, моты в СУС способны функционировать без участия центрального сервера. Они формируют управляющие команды *актуаторам* — машинным или человекомашинным системам, осуществляющим решение пользовательской задачи или отдельных ее подзадач. Взаимодействие между мотами и актуаторами происходит по беспроводному каналу связи малого радиуса действия. Центральный сервер, назы-

аемый *контроллером СУС*, играет меньшую роль по сравнению с обычными беспроводными сенсорными сетями — он лишь контролирует правильность работы СУС и взаимодействует с внешними системами. Модель предоставления услуг в СУС изображена на Рисунке 5.3.

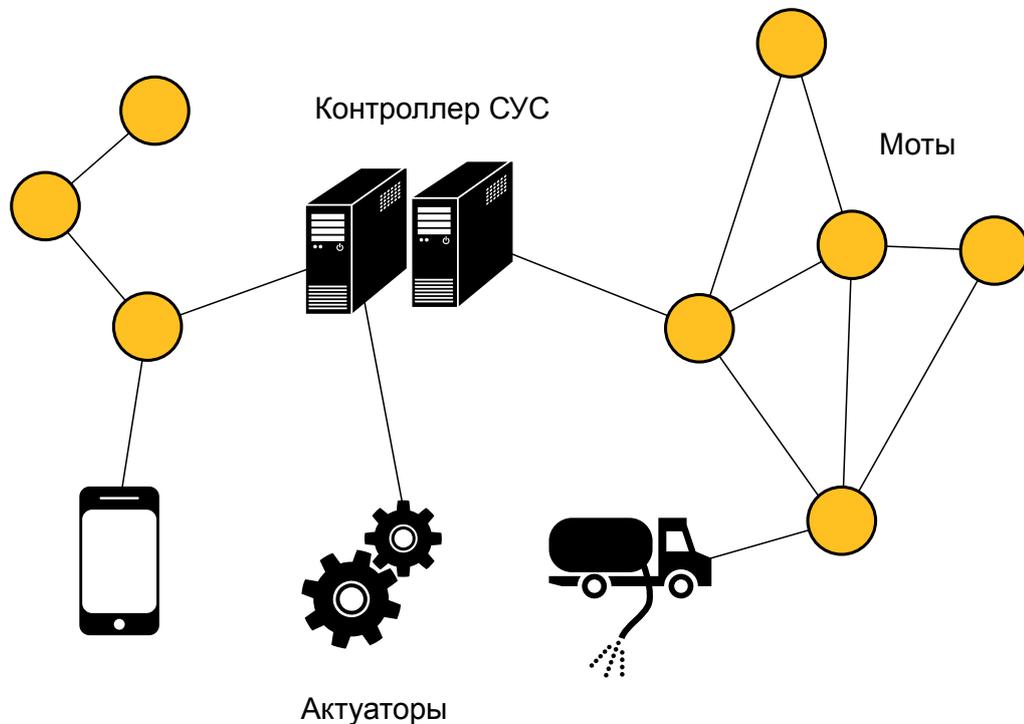


Рисунок 5.3 — Модель предоставления услуг в СУС

Использование одновременно нескольких каналов связи, а также выполнение элементами СУС одновременно нескольких ролевых функций означает, что услуги, оказываемые СУС, всегда являются конвергентными.

5.2.2 Задача оценки эффективности использования ограниченных ресурсов для сенсорных управленческих сетей

Новая модель предоставления ИК услуг требует решения вопроса оценки ЭИОР. При внедрении СУС неизбежно приходится сталкиваться с большим количеством ситуаций, требующих выбора одной альтернативы из нескольких возможных. Необходимо определить топологию будущей сети, количество элементов в ней и их взаимное расположение, модель безопасности, которая будет использоваться в сети; выбрать аппаратное и программное обеспечение как для

сенсорных узлов, так и для центров, осуществляющих управление сетью. Выбор должен быть таким, чтобы СУС успешно решала все ставимые перед ней задачи, при этом количество ограниченных ресурсов не должно превышать установленных ограничений. При эксплуатации СУС также требуется постоянно принимать решения, связанные с выбором альтернатив. Примером таких решений является размещение дополнительных элементов при расширении СУС, определение порядка замены элементов питания сенсорных узлов, решение об обновлении программного или аппаратного обеспечения СУС. Помимо этого, при проектировании отдельных элементов сенсорной сети возникает необходимость выбора компонентной базы, способов модуляции сигналов, методов криптозащиты, набора частотных каналов, в которых будут работать разрабатываемые устройства. Наконец, сама работа сенсорной сети связана с постоянным принятием решений на уровне отдельных узлов: к примеру, выбор маршрута для доставки сообщения, определение момента перехода узла в спящий режим, идентификация сенсорных узлов и решение о степени доверия к их показателям. Разработчикам необходимо закладывать алгоритмы, по которым будет осуществляться принятие подобных решений, в программные стеки элементов СУС.

Таким образом, при проектировании и эксплуатации СУС осуществляется принятие решений на следующих трех уровнях [90]:

1. Системный уровень — решения, принимаемые при развертывании и модификации СУС, а также при поддержке ее работоспособности;
2. Уровень элементов — решения, принимаемые разработчиками программного и аппаратного обеспечения элементов СУС;
3. Оперативный уровень — решения, принимаемые элементами СУС на основании заложенных в них алгоритмов.

Поскольку на всех этих уровнях различаются лица, принимающие решения: ими могут выступать как люди (системные аналитики, разработчики, проектировщики), так и программно-аппаратные комплексы, работающие в автоматическом режиме, — очень важно создать условия для того, чтобы решения, принимаемые на разных уровнях, были согласованы между собой. Для этого

необходимо, чтобы ЛПР на разных уровнях пользовались одними и теми же показателями ЭИОР.

5.2.3 Система обеспечения индивидуальной безопасности при чрезвычайных ситуациях

Далее будут представлены результаты оценки ЭИОР для одной из конвергентных ИК услуг, предоставляемых СУС — индивидуализированного управления при чрезвычайных ситуациях (ЧС). Данная услуга имеет высокую практическую значимость и оказывает непосредственное влияние на уровень жизни населения за счет повышения индивидуальной безопасности и уменьшения количества пострадавших при ЧС. Ее важность отмечается в Рекомендации Y.2222, где одно из приложений (Appendix II) посвящено *системам обеспечения индивидуальной безопасности (СОИБ)* [105, с. 20–21]. Кроме того, в данной конвергентной ИК услуге отличия между объектами оценки (различными традиционными системами оповещения и СОИБ, основанными на СУС), выражаются не только в виде значений технических показателей, но и через трудноформализуемые особенности работы различных систем. В связи с этим, в настоящем подпараграфе будет дано описание этих особенностей, которые позволяет учесть разработанная модель конвергентной ИК услуги.

Электрическая схема, соответствующая пользовательской задаче, изображена на Рисунке 5.4. При чрезвычайной ситуации крайне важно, чтобы все люди были выведены из опасности до наступления катастрофической фазы. Поэтому основным ограниченных ресурсов в подобных системах является время. Число реализаций соответствует количеству спасенных людей. Величина от начала ЧС до катастрофической фазы составляет выделенные ограниченные ресурсы ξ . Для пожара, например, эта величина составляет обычно около 40 мин [13].

В большинстве традиционных систем оповещения решение пользовательской задачи происходит следующим образом. После возникновения первых признаков ЧС проходит некоторое время (как минимум 1 мин.), прежде чем датчики фиксируют их. После этого сигнал о подозрении на ЧС передается на диспетчерский

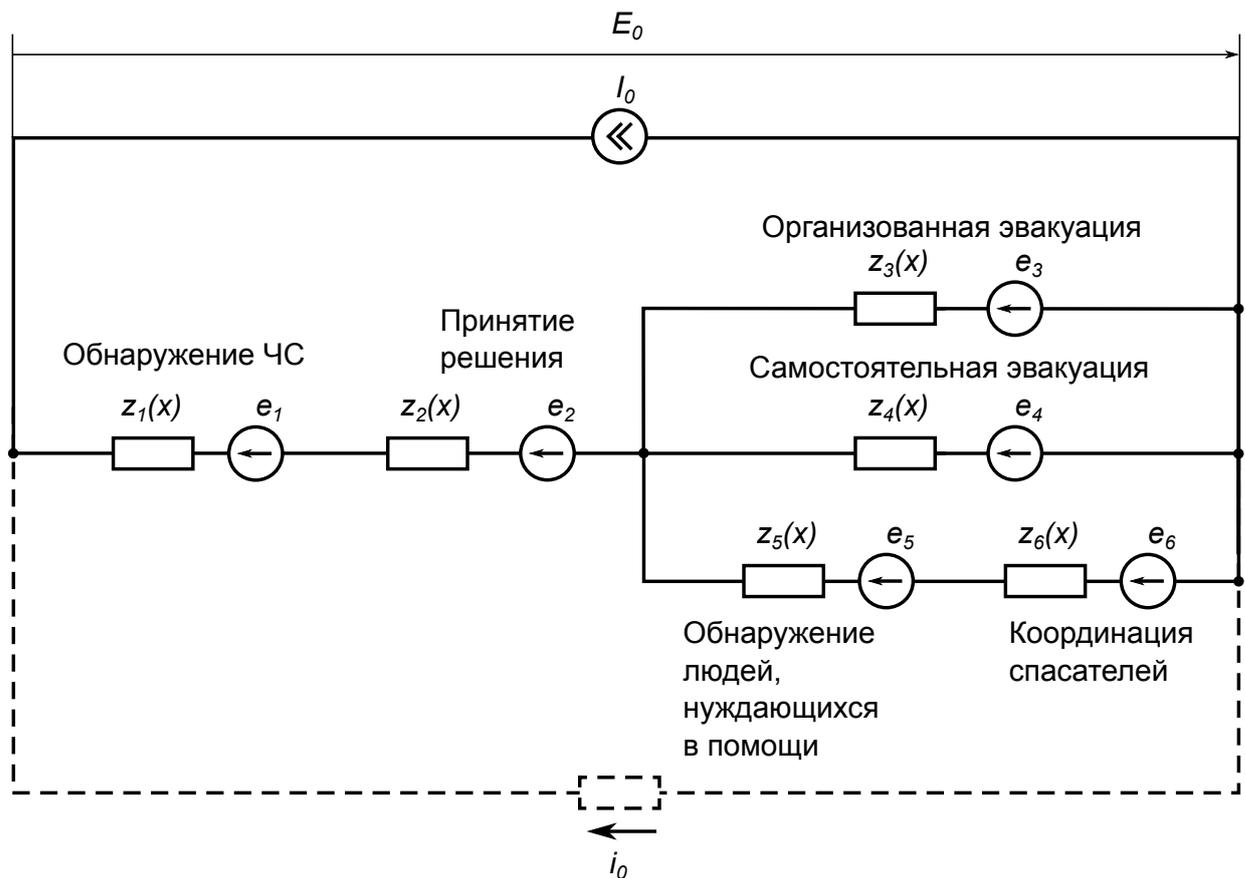


Рисунок 5.4 — Электрическая сеть, соответствующая пользовательской задаче оповещения (управления) при ЧС

пункт, где ответственный персонал принимает решение о начале эвакуации. Поскольку эвакуация всегда сопровождается сбоем производственных процессов и неудобствами для людей, в большинстве случаев персонал затрачивает значительное время (не менее 5 мин.) на проверку факта возникновения ЧС, принятие решения об эвакуации и согласование его с руководством. Затем при помощи громкоговорителей или дисплеев воспроизводится объявление об эвакуации с инструкциями о необходимых действиях; следуя им, люди в зоне ЧС покидают опасную территорию. Время на выполнение данной подзадачи может существенно варьироваться в зависимости от разных факторов: типа ЧС, правильности инструкций в объявлении, подготовленности людей к ЧС, возникновения паники и т. д. Условно можно принять, что минимальное время самостоятельной или организованной эвакуации человека составляет 10 мин. Для тех людей, кто не может спастись самостоятельно или организованно, в помещениях могут быть установлены «тревожные кнопки», нажав на которую, можно связаться с опе-

ратором и запросить помощь спасателей. Учитывая, что спасателям в условиях ЧС требуется значительное время, чтобы найти человека, которому требуется помощь, можно принять минимальное время на подзадачи обнаружения и спасения равным 20 мин.

Приведенные выше числа соответствуют величине минимальных необходимых ограниченных ресурсов e для разных подзадач. Они составляют 15–25 мин., что укладывается в период до возникновения катастрофической фазы. Однако, как отмечалось выше, величина минимальных необходимых ограниченных ресурсов соответствует эталонным условиям; если условия отличаются от эталонных, величина необходимых ограниченных ресурсов может быть гораздо выше. Именно это является причиной недостаточно высокой эффективности традиционных систем оповещения. Приведем примеры для каждой подзадачи [37]:

1. Повреждение при ЧС канала передачи данных, по которому датчики передают информацию на диспетчерский пункт, может существенно увеличить время обнаружения этой ЧС.

2. На принятие решения об эвакуации большое влияние оказывает человеческий фактор. Многочисленные примеры показывают, что зачастую для ответственного персонала больший приоритет имеет собственная безопасность, в результате чего команда об эвакуации не дается или дается слишком поздно.

3. Самостоятельная или организованная эвакуация может занять большое время при плохой координации действий людей.

4. Обнаружение и спасение людей, нуждающихся в помощи, может занять значительное время, если неизвестно количество и местонахождение пострадавших.

По этой причине ФОР каждой подзадачи для традиционных систем оповещения увеличивается очень быстро с ростом аргумента и уже для небольшого числа реализаций превышает время от начала ЧС до наступления ее катастрофической фазы.

Применение СУС позволяет перейти от оповещения к индивидуализированному управлению при ЧС [37]. СОИБ, в разработке которой также принимал участие автор [61–64], предусматривает установку пользователями на свои мо-

бильные телефоны специального приложения, обеспечивающего взаимодействие телефона с этой системой. В помещении устанавливаются моты СУС, которые автоматически регистрируют начало ЧС, давая СОИБ возможность взаимодействия с пользователями на ранней ее стадии. Пользователи в автоматическом режиме получают предупреждения, причем инструкции соответствуют индивидуальным характеристикам отдельных пользователей. Они получают предупреждение об опасности в начале развития чрезвычайной ситуации и могут, не теряя времени, решить, нужна ли эвакуация. СОИБ не только посылает оповещения, но также передает пользователю информацию о самом коротком безопасном пути из здания с учетом текущего местонахождения пользователя.

После активации приложения и отправки первоначального оповещения СОИБ непрерывно взаимодействует с пользователем, отслеживая изменения чрезвычайной ситуации и процесс эвакуации из здания, при необходимости отправляя пользователю дополнительную информацию. СОИБ функционирует в бесперебойном режиме, посылая сигналы раннего и персонального оповещения о пожаре и других типах чрезвычайных ситуаций. Непрерывный поток информации на родном языке позволяет пользователям спастись, покинув здание или переместившись в безопасное место внутри здания. Поскольку люди знают, что происходит и что они должны делать, паника не возникает. Кроме того, информация о рекомендациях СОИБ и действиях пользователей передается в центр управления действиями в чрезвычайных ситуациях, поэтому спасатели могут эффективно выполнить свою функцию.

Результатом применения СУС является расширение класса эталонных условий: за счет автономности и децентрализации устраняется большинство факторов, неблагоприятных для традиционных систем оповещения. Из-за этого происходит уменьшение ФОР $z(x)$ в широком диапазоне изменения аргумента, следовательно, для одного и того же значения E будет больше число людей i , которые могут быть выведены из опасности при помощи системы. При этом величина минимальных необходимых ограниченных ресурсов e остается практически без изменений, поскольку в эталонных условиях СОИБ и традиционные системы оповещения работают сходным образом. Таким образом, без применения

разработанной модели конвергентной ИК услуги оценки ЭИОР формализовать полезный эффект от внедрения СОИБ было бы затруднительно.

5.2.4 Разработка программы для микроконтроллера узла сенсорной сети по распределению ограниченных ресурсов в режиме реального времени

Для того, чтобы решения, принимаемые СУС на оперативном уровне, были согласованы с решениями, принятыми на системном уровне и уровне элементов, для микроконтроллера СУС автором была разработана программа для микроконтроллера узла СУС. Данная программа формирует рекомендации таким образом, чтобы использовать ограниченные ресурсы наиболее эффективно. При этом также учитывались ограниченные ресурсы, не связанные с ИКТ напрямую: риск воздействия опасных факторов ЧС (дыма, огня), возможности пользователя по скорости перемещения в пространстве, пространство в коридорах и других узких местах помещения, необходимое для предотвращения давки. При разработке программы использовался методика расчета ФОР в режиме реального времени, описание которого было дано в параграфе 4.1.6.

На Рисунке 5.5 слева и справа показаны схемы процессов принятия решения до и после разработки программы соответственно. По вертикали на данной схеме расположены составные части СУС, а по горизонтали — величины, используемые при принятии решений. Вертикальными стрелками показаны операции обработки данных, вертикальными — операции передачи данных между составными частями СУС. До разработки данной программы из-за высокой вычислительной сложности расчет ФОР приходилось производить на контроллере СУС. Как видно из рисунка, разработанная программа позволила перенести этот расчет на микроконтроллер узла сенсорной сети, тем самым полностью децентрализовав процесс принятия решений. Контроллер СУС отвечает теперь только за взаимодействие с диспетчером СОИБ, и его работоспособность во время ЧС не является необходимым условием для успешной работы системы. Тем самым была существенно повышена надежность СОИБ.

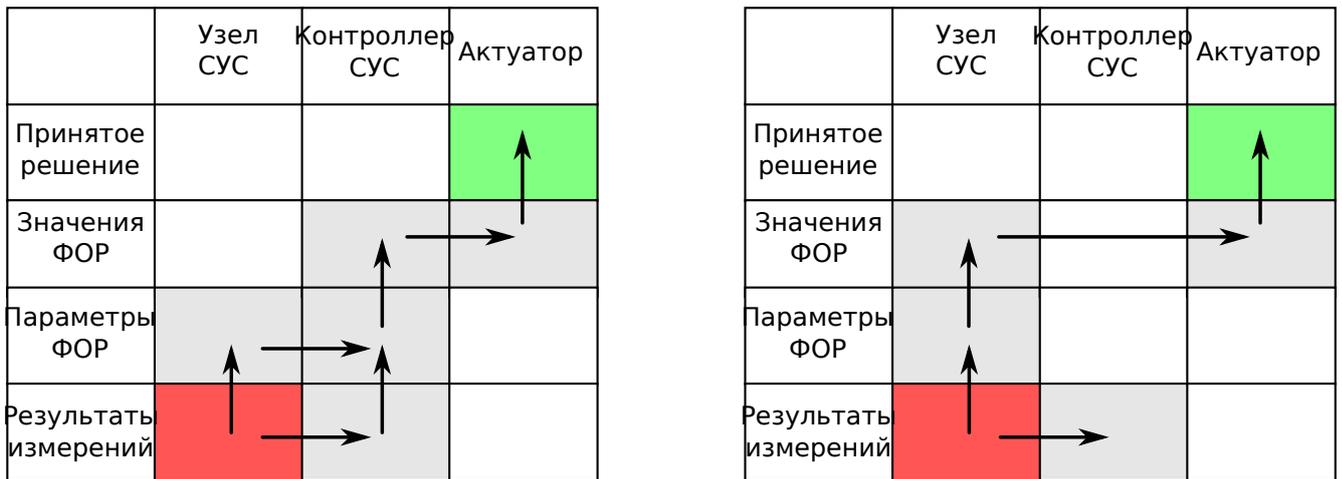


Рисунок 5.5 — Схема процесса принятия решения в СУС (слева — до разработки программы для микроконтроллера узла сенсорной сети, справа — после)

Программа для микроконтроллера была построена по принципу «шины событий» [76] и состоит из нескольких модулей. Взаимодействие между модулями осуществляется при помощи так называемых *событий* — коротких сообщений с определенной структурой. Большинство модулей относятся либо к *генераторам*, либо *приемникам* событий. Исключениями являются модуль `event_bus`, обеспечивающий коммутацию событий от генераторов к приемникам, а также модуль `for_calculator`, являющийся одновременно и генератором, и приемником событий.

Ниже приведено описание каждого из модулей:

`sensor_generator` — обеспечивает опрос датчиков температуры и задымления и генерирует событие, если результаты измерений превышают определенные пороговые значения.

`gateway_generator` — осуществляет взаимодействие с одним или несколькими шлюзами Bluetooth 2.1 и генерирует событие при присоединении или отсоединении мобильных телефонов пользователей к узлу сенсорной сети.

`scn_generator` — взаимодействует с приемопередающим модулем сенсорной сети и генерирует событие при изменении конфигурации сенсорной сети.

`for_calculator` — осуществляет определение ФОР в соответствии с методологией расчета ФОР в реальном времени на основании моделей эвакуации, основанной на ГОСТ 12.1.004-91. Принимает события от `sensor_generator`,

`gateway_generator` и `scn_generator` для коррекции параметров модели. Генерирует события об изменении ФОР.

`event_bus` — осуществляет коммутацию событий от генераторов к приемникам. В начале работы программы каждый из генераторов регистрируется путем вызова специальной функции модуля `event_bus`. Затем каждый из приемников также проходит регистрацию, указывая при этом, на какие именно события он должен реагировать. При возникновении события генератор вызывает определенную функцию модуля `event_bus`, который, в свою очередь, вызывает функции всех модулей, зарегистрированных на прием события данного типа.

`emergency_detection` — по событиям от модулей `sensor_generator` и `scn_generator` определяет вероятность того, что в текущий момент времени происходит ЧС. В случае превышения порогового значения вероятности передает управление модулю `evacuation_decison_maker`.

`evacuation_decision_maker` — по событиям от модуля `gateway_generator` в зависимости от количества пользователей, находящихся и категорий, к которым они относятся (обслуживающий персонал, посетители здания, инвалиды и т. п.), определяется, проводить ли эвакуацию или принимать меры по устранению ЧС. Затем передает управление модулям `organized_evacuation`, `self_evacuation` и `rescue_detection`.

`organized_evacuation` — отвечает за формирование и передачу рекомендаций обслуживающему персоналу.

`self_evacuation` — отвечает за формирование передачу рекомендаций посетителям здания, в том числе инвалидам.

`rescue_detection` — отвечает за обнаружение пользователей, которые в течение слишком долгого времени находятся в зоне опасности. При обнаружении таких пользователей управление передается модулю `rescue_coordination`.

`rescue_coordination` — отвечает за формирование и передачу рекомендаций спасателям по поиску людей, нуждающихся в помощи.

Таким образом, генераторы событий соответствуют элементам узла сенсорной сети, подключенным к микроконтроллеру, а приемники — отдельным подза-

дочам и СД, изображенным на Рисунке 5.4. На Рисунке 5.6 показана общая схема разработанной программы.

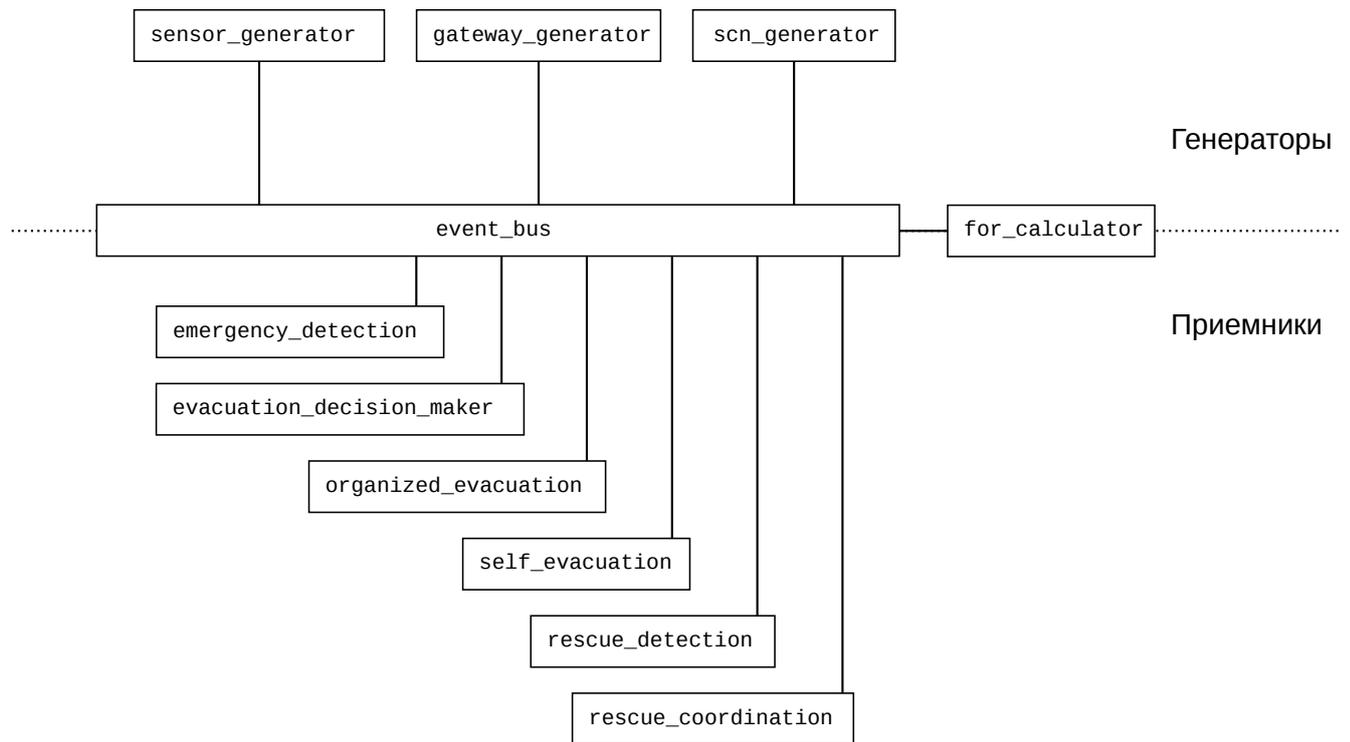


Рисунок 5.6 — Схема взаимосвязи модулей программы для микроконтроллера узла сенсорной сети

5.2.5 Контрольные сети

Еще одним примером, демонстрирующим возможности разработанных моделей и методик оценки ЭИОР, являются *контрольные сети* (КС). Они являются частным случаем СУС и описаны в Приложении 1 (Appendix I) Рекомендации МСЭ-Т Y.2222 [105, с. 17–18]. КС предназначены для предотвращения значительных нежелательных последствий ошибок в работе технических систем, работающих без участия человека. Подобные ошибки могут возникать из-за ненадежности каналов передачи данных, рассинхронизации потоков обработки данных, неполной совместимости оборудования различных производителей, ошибок при проектировании аппаратного и программного обеспечения. Если техническая система работает под управлением человека, большинство этих ошибок может быть своевременно обнаружено. В противном же случае необходимы специаль-

ные меры против их возникновения для того, чтобы не допустить серьезного ущерба, прежде всего человеческих жизней.

КС осуществляют мониторинг технических систем во время выполнения ими операций, которые могут повлечь значительные нежелательные последствия, и могут отменять или изменять команды, даваемые актуаторам этих систем, при угрозе наступления таких последствий. Например, если актуатор пожарной системы должен закрыть двери и окна для затруднения циркуляции воздуха, КС может осуществлять проверку наличия людей в помещениях или дверных проемах, чтобы предотвратить их блокировку в горящем здании.

КС никак не проявляет себя до тех пор, пока ее моты не обнаружат ошибки в работе контролируемой технической системы. Тем не менее, в разработанной модели конвергентной ИК услуги учет полезного эффекта от КС не представляет сложности. КС уменьшает ФОР в тех условиях, которые настолько отличаются от эталонных для технической системы, что вызывают возникновение ошибки; за счет этого уменьшается ФОР для больших значений аргумента. Даже если при практической эксплуатации технической системы ошибки ни разу не возникали, возможностью их появления нельзя пренебрегать, если требуемое число реализаций еще не выполнено. Таким образом, даже в этом случае полезный эффект от КС может быть учтен и тем самым внедрение КС может быть обосновано.

Как и для СОИБ, разработанная модель конвергентной ИК услуги позволяет при оценке ЭИОР принимать во внимание необходимость выделения ограниченных ресурсов для любых других систем, повышающих надежность, безопасность, избыточность, в то время как во многих других методах оценки ЭИОР данные факторы игнорируются.

5.2.6 Практические рекомендации параграфа 5.2

Практические рекомендации по результатам работы, изложенным в настоящем параграфе, включают в себя:

1. Применение средств индивидуализированного управления при ЧС в дополнение к системам массового оповещения.

2. Использование метода расчета показателей ЭИОР в режиме реального времени для более эффективного управления процессом эвакуации посредством сенсорной управленческой сети.

3. Использование контрольных сетей для повышения надежности систем, работающих без участия человека.

5.3 Выбор системы доставки высокоточной эфемеридно-временной информации по наземным каналам связи с точки зрения ЭИОР

В данном параграфе показан пример использования разработанных показателей ЭИОР для принятия решений. Представленные ниже результаты были использованы в научно-исследовательской работе «Исследование вопросов эффективности применения высокоточной эфемеридно-временной информации (ЭВИ), передаваемой потребителю по каналам связи в реальном времени», проводимой в рамках федеральной целевой программы «Поддержание, развитие и использование системы ГЛОНАСС на 2012-2020 годы» [25].

5.3.1 Постановка задачи

Одной из задач данной работы был выбор наземного канала связи для системы доставки высокоточной эфемеридно-временной информации (СДВЭВИ). СДВЭВИ предназначается для повышения точности местоопределения глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) ГЛОНАСС и GPS. Для возможности ее использования потребителям необходимо в дополнение к навигационному сигналу, получаемому со спутников ГЛОНАСС или GPS, доставить дополнительную информацию, которую навигационная аппаратура потребителя сможет использовать для определения места и времени с высокой точностью. Имеется несколько альтернативных вариантов организации доставки высокоточной ЭВИ по наземным каналам связи:

- сотовая связь;
- цифровое телевидение (ЦТВ);

- УКВ радиовещание и связь;
- доступ к сети Интернет по проводным и беспроводным каналам связи.

Требовалось определить, в каких условиях следует выбирать ту или иную альтернативу с учетом преимуществ и недостатков каждого из каналов связи. В таком виде данная задача представляет собой пример задачи многокритериального принятия решений.

5.3.2 Рассматриваемые ИК услуги

В качестве первого шага был определен перечень ИК услуг, для которых повышение точности ГНСС является актуальным. Для этого был проведен анализ рынка ИК услуг, тем или иным образом использующих координатно-временную информацию, и научно-технической литературы, посвященной перспективным разработкам в этой области. Были рассмотрены следующие отрасли хозяйства и научно-технические задачи, такие как транспортный комплекс, службы спасения, геодезия, картография и земельные работы, авиация, управление автономными подвижными объектами и др.

По каждой из этих отраслей было найдено несколько основных направлений применения высокоточной ЭВИ (например, дноуглубительные работы и забивка свай, позиционирование погруженных кабелей и труб, изучение приливов в морском секторе; мониторинг деформаций строительных объектов, оптимизация работы служб логистики, геодезические и разведывательные работы в строительстве и т. п.). Для каждого из этих применений, в свою очередь, имеется множество конвергентных ИК услуг, по-разному использующих высокоточную ЭВИ. Таким образом, общее количество ИК услуг оказалось весьма значительным. Кроме того, в научно-исследовательской работе требовалось учесть возможность появления в будущем новых, не имеющих аналогов в настоящий момент ИК услуг.

Было обнаружено, что многие ИК услуги имеют сходные требования к требованиям СДВЭВИ, поэтому для выбора канала связи для доставки высокоточной

ЭВИ достаточно провести анализ лишь для основных типов ИК услуг. В итоге, в общей сложности была рассмотрена 21 ИК услуга.

5.3.3 Факторы, влияющие на функцию ограниченных ресурсов

В соответствии с методикой расчета ФОР оценки ЭИОР, описанной в главе 3, необходимо установить, от каких факторов зависит ФОР для каждой рассматриваемой ИК услуги. Было выделено 7 факторов, тем или иным образом зависящих от канала связи:

1. **Погрешность местоопределения.** Погрешность местоопределения вычисляется как разность измеренного и действительного положения потребителя. С точки зрения СДВЭВИ данный фактор связан с задержкой, возникающей при передаче информации, так как некоторые данные, передаваемые в составе ЭВИ, быстро становятся устаревшими. У различных типов ЭВИ (координаты спутников, поправки к шкалам времени, данные о состоянии ионосферы и тропосферы и др.) имеется разное время жизни. Для возможности использования всех из них канал связи должен обеспечивать задержку не более 2 с. В противном случае по нему может быть передана лишь часть ЭВИ, что приведет к уменьшению результирующей точности местоопределения. Была получена зависимость погрешности местоопределения от задержки, имеющейся в канале связи, которая, в свою очередь, определяет номенклатуру услуг, которая может быть оказана с применением данного канала связи.

2. **Режим работы.** Особенностью СВО ЭВИ является то, что она может работать не только в режиме реального времени, но также предоставлять оперативные, предварительные и окончательные данные для работы в апостериорном режиме с задержкой соответственно 1-2 часа, 1-2 суток и 15 суток. При этом точность местоопределения может быть существенно повышена по сравнению с режимом реального времени. Для многих услуг такие задержки являются допустимыми, поскольку из-за большой длительности каких-либо других процессов они не могут быть оказаны абонентам в режиме реального времени. Для некоторых каналов связи присутствие большого количества абонентов, получающих

информацию в режиме реального времени, может создать слишком большую нагрузку на сеть. По этой причине ФОР при работе в апостериорном режиме у них будет меньше.

3. Зона покрытия. Для разных ИК услуг разные типы территорий не являются одинаково важными. В связи с этим отдельно рассматривались следующие типы территорий: городская застройка, открытое наземное пространство, помещения, автомобильные и железнодорожные пути сообщения между населенными пунктами, лес, горная местность, воздушное пространство (до 20 км), поверхность морей и океанов.

4. Мобильность. Мобильность означает возможность для абонента получать услуги находясь в движении. Для обеспечения мобильности необходимо, во-первых, чтобы используемый канал связи поддерживал работу в движении, и, во-вторых, чтобы габариты и вес аппаратуры позволяли ее перемещение. В соответствии с требованиями различных ИК услуг было выделено пять категорий мобильности канала связи (только неподвижные объекты, скорость пешехода, скорость городского автомобильного потока, скорость загородного автомобильного потока, скорость самолета) и шесть категорий мобильности навигационной аппаратуры потребителя (стационарная, возимая, носимая, портативная, сверхпортативная, встраиваемая).

5. Доступность. Доступность СДВЭВИ определяется как ее готовность обеспечить передачу абоненту высокоточную ЭВИ на заданной территории, выраженная в процентах времени на определенном временном интервале, в течение которого обеспечиваются заданные условия. Доступность определяет вероятность, с которой высокоточная ЭВИ будет передана абоненту, а значит, непосредственно влияет на ФОР.

6. Контроль целостности. При определении местоположения помимо различных факторов, влияющих на погрешность, необходимо учитывать также возможные искажения передаваемых цифровых данных. Искажение одного бита в потоке данных, в котором не применяется контроль целостности, в худшем случае может привести к погрешности в сотни метров и более. Подобного рода ошибки для различных услуг могут иметь совершенно разное значение. Если

результаты решения навигационной задачи в том или ином виде представляются человеку, ошибка может быть обнаружена и отброшена. В этом случае возможность возникновения ошибки отразится лишь в уменьшении готовности системы. Если же результаты местоопределения используются для автоматического принятия решений, то необнаруженная ошибка может привести к существенным негативным последствиям, что соответствует росту ФОР при достаточно больших значениях аргумента. Основным показателем, характеризующим контроль целостности, является вероятность того, что возникшее в процессе передачи искажение будет обнаружено.

7. Себестоимость. В себестоимость должны быть включены эксплуатационные затраты, стоимость необходимых лицензий, затраты на создание и модернизацию инфраструктуры, если таковые понадобятся для передачи высокоточной ЭВИ по данному каналу связи. Для апостериорного режима работы показателем является себестоимость передачи единицы (например, 1 Мб) трафика, для режима реального времени — себестоимость единицы времени работы канала связи после установления соединения.

Было предложено рассмотреть пространство, осями в котором являются показатели, соответствующие вышеперечисленным факторам. Тогда различные требования, предъявляемые к СДВЭВИ, можно представлять в виде точек этого пространства. Для каждой ИК услуги можно определить *минимальные требования*, такие, что любое отклонение от этих требований делает оказание этой услуги невозможным или нецелесообразным, и *максимальные требования*, после выполнения которых увеличение возможностей альтернативы уже не дает какого-либо эффекта. В свою очередь, возможности, реализуемые СДВЭВИ, можно представить в виде множества определенного выше пространства. Данное множество должно быть задано как система ограничений на значения критериев ЭИОР.

5.3.4 Оценка альтернатив

Оценка каналов связи для доставки высокоточной ЭВИ проводилась с использованием методики расчета показателей ЭИОР, основанной на тензорном анализе сетей и описанной в параграфе 4.1. Для определения приоритетов, прежде всего, необходимо сформулировать минимальные и максимальные требования для каждой ИК услуги. При этом возможно два случая.

Если для услуги переход от выполнения минимальных требований к выполнению максимальных требований не приводит к каким-либо качественным изменениям, и единственным его результатом является улучшение качества обслуживания, то необходимо выделить значимые для данной ИК услуги показатели, то есть такие, по которым различаются максимальные и минимальные требования. После этого, в соответствии с итерационным алгоритмом, необходимо установить соотношения для расчета ФОР в зависимости от значений значимых показателей.

Для многих ИК услуг возможность выполнения требований более жестких, чем минимальные, не только позволяет улучшить параметры обслуживания, но и открывает качественно новые сферы использования этих услуг. Например, в авиации увеличение точности и надежности местоопределения позволяет применять глобальные навигационные спутниковые системы не только во время крейсерского полета, но и на этапе захода на посадку [77]. Каждую подобную модификацию ИК услуги можно рассмотреть как самостоятельную ИК услугу со своим набором параметров: минимальными и максимальными требованиями, относительной важностью критериев, — и применить к ней процедуру расчета ФОР.

Для каждого из каналов связи был проведен анализ, позволивший сделать оценку всех необходимых показателей с учетом прогнозов развития этих каналов связи до 2020 года. С учетом возможностей исследуемых каналов связи и требований к ним для разных ИК услуг получены глобальные приоритеты альтернатив и сделан выбор в пользу того или иного канала связи для каждой ИК

услуги. На Рисунке 5.7 показано количество ИК услуг, имеющих наибольший глобальный приоритет для того или иного канала связи.

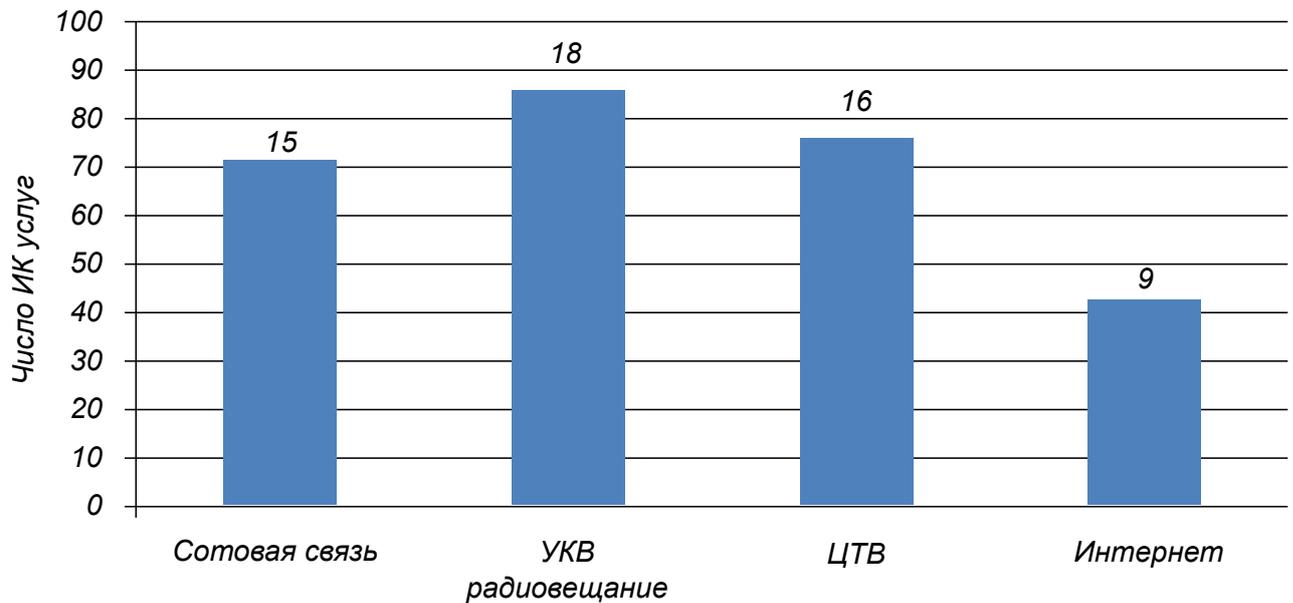


Рисунок 5.7 — Количество и доля от общего количества ИК услуг, для которых канал связи X имеет наибольший глобальный приоритет

Проведение анализа потребовало $21 \cdot 2 \cdot 7 + 4 \cdot 7 = 322$ экспертные оценки (минимальные и максимальные требования по каждому показателю и по каждой ИК услуге, а также прогноз изменения показателей в будущем по каждому критерию), в то время как использование метода анализа иерархий потребовало бы проведения $\frac{7 \cdot 6 \cdot 21}{2} = 441$ парных сравнений критериев и $\frac{7 \cdot 4 \cdot 3 \cdot 21}{2} = 882$ парных сравнений альтернатив, итого 1323 парных сравнения. Таким образом, применение разработанных показателей ЭИОР позволило сократить число необходимых экспертных оценок на 75%.

5.3.5 Практические рекомендации параграфа 5.3

Практические рекомендации по результатам работы, изложенным в настоящем параграфе, включают в себя:

1. Использование всех каналов связи для доставки высокоточной ЭВИ в целом, поскольку различные ИК услуги существенно отличаются друг от друга с точки зрения требований, предъявляемых к каналам связи [25].

2. Перечень ИК услуг, для которых целесообразно применять лишь какой-то один канал связи с указанием конкретного канала и обоснованием.

5.4 Выводы по главе 5

1. Для оценки эффективности использования ИКТ автором было предложено производить сбор и анализ данных в центре доверенного интегратора (ЦДИ) информационно-управленческой сети (ИУС) для получения необходимой статистической информации. Также предложено использование «больших данных» для определения величины необходимых ограниченных ресурсов при сбоях, ошибках, авариях, действиях злоумышленников и других нетипичных ситуациях, для которых при проектировании ИУС не были предусмотрены специальные процедуры сбора данных.

2. По результатам работы был разработан перечень показателей эффективности использования ИКТ, основанный на подсчете подсчете ограниченных ресурсов, необходимых пользователю для доступа к наиболее важным ИК услугам. Для всех показателей были разработаны методики расчета, не требующие участия экспертов (для расчета текущего значения) и основанные на результатах измерений.

3. Эффективность использования сенсорных управленческих сетей (СУС) может быть повышена за счет применения одних и тех же показателей эффективности использования ограниченных ресурсов (ЭИОР) как на системном уровне, так и на уровне элементов и оперативном уровне при проектировании, развертывании и эксплуатации СУС. Такой подход был применен при проектировании системы обеспечения индивидуальной безопасности, где в качестве ограниченного ресурса рассматривалось время, имеющееся у пользователя до начала катастрофической фазы ЧС. Кроме того, одна из предложенных в диссертационной работе методик была использована при разработке программы для микроконтроллера узла СУС.

4. В рамках научно-исследовательской работы «Исследование вопросов эффективности применения высокоточной эфемеридно-временной информации

(ЭВИ), передаваемой потребителю по каналам связи в реальном времени» даны практические рекомендации по выбору каналов связи для доставки высокоточной ЭВИ с точки зрения ЭИОР. Была доказана целесообразность использования всех четырех рассмотренных каналов связи, поскольку различные конвергентные ИК услуги существенно отличаются друг от друга с точки зрения требований, предъявляемых к каналам связи. Одновременно было показано, что для отдельных конвергентных ИК услуг целесообразно применять для доставки высокоточной ЭВИ лишь какой-то один канал связи, и были даны рекомендации по выбору этого канала. Применение разработанных моделей и методик оценки ЭИОР позволило сократить число необходимых экспертных оценок по сравнению с широко известным методом анализа иерархий на 75%.

Заключение

В диссертации разработаны показатели эффективности использования ограниченных ресурсов (ЭИОР), позволяющие повысить ЭИОР при применении их для распределения ограниченных ресурсов при оказании конвергентных ИК услуг. Основные результаты работы заключаются в следующем:

1. Установлено, что важным условием повышения ЭИОР при оказании конвергентных инфокоммуникационных (ИК) услуг является наличие показателей ЭИОР, взаимоувязанных на разных уровнях. При этом показатели, используемые в настоящее время в области инфокоммуникационных технологий (ИКТ), не применимы для оценки ЭИОР при оказании конвергентных ИК услуг. По этой причине требуется разработка специальных показателей ЭИОР, учитывающей особенности конвергентных ИК услуг, их высокую сложность и разнообразие и удовлетворяющих следующим требованиям: многокритериальность; применимость на всех уровнях; связь технических показателей и показателей качества ИК услуг; применимость для конвергентных и традиционных ИК услуг; отсутствие необходимости или минимальная необходимость в экспертных суждениях; возможность учета рисков.

2. Разработана модель конвергентной ИК услуги, в которой конвергентная ИК услуга представляется как средство решения задачи, стоящей перед пользователем. В модели используется иерархическая декомпозиция пользовательской задачи, при которой последняя разбивается на последовательность подзадач, для решения которых используются те или иные способы действий (СД), соответствующие различным технологиям, сетям связи и вещания, различным техническим параметрам осуществляемых действий. Также модель позволяет каждый конкретный СД рассмотреть как отдельную пользовательскую задачу, выделив в нем подзадачи и более детальные СД. Такой способ иерархической декомпозиции позволяет формализовать различия как принципиальные отличия между ИК услугами (разный набор подзадач), так и особенности реализации (использование различных СД для одних и тех же подзадач).

3. Предлагаются четыре показателя ЭИОР: требуемое число реализаций, функция ограниченных ресурсов (ФОР), полезный эффект, коэффициент ЭИОР. Доказано, что модель конвергентной ИК услуги, включающая данные показатели, удовлетворяет сформулированным ранее требованиям.

4. Предложена методика аналитического вычисления ФОР на основе функции распределения необходимых ограниченных ресурсов. Произведены расчеты ФОР для времени активного периода узла сенсорной сети для случаев однотипных и разнотипных пользовательских устройств. Исходя из этих расчетов, при проектировании системы обеспечения индивидуальной безопасности при чрезвычайных ситуациях было принято решение о выдаче обслуживающему персоналу однотипных устройств вместо использования собственных устройств членов персонала для повышения надежности системы. Также было выбрано время активного периода в 16 секунд при периоде опроса 300 секунд, что обеспечило успешный опрос всех пользовательских устройств с вероятностью 95%. Результаты измерений показали, что применение спящего режима с выбранными характеристиками продлевает время работы пользовательских устройств на 15% по сравнению с постоянным нахождением в активном режиме.

5. Предложена методика расчета показателей ЭИОР при помощи имитационного моделирования, в которой определение требуемых ограниченных ресурсов производится путем многократной имитации реализации пользовательской задачи при варьируемых ограничениях на выделенные ресурсы. Практическая реализуемость предложенной методики продемонстрирована путем разработки программы для среды Matlab/GNU Octave, алгоритм работы которой основан на данной методике. Предложенная методика расчета показателей ЭИОР и разработанная программа были применены при проектировании узла сенсорной сети, что позволило узлу обслуживать на 10% больше пользователей. Также при расчете показателей ЭИОР не потребовались экспертные оценки.

6. Предложена методика расчета показателей ЭИОР, основанный на тензорном анализе сетей и предназначенная для тех случаев, когда вычисление показателей эффективности использования ограниченных ресурсов (ЭИОР) является слишком затратным с вычислительной точки зрения. Данная методика использо-

валась для разработки программы для микроконтроллера узла сенсорной управленческой сети.

7. Предлагаемые показатели ЭИОР использовались для выбора показателей эффективности использования ИКТ в Приднестровской Молдавской Республике, оценке эффективности использования сенсорных управленческих сетей и проведения обоснованного выбора наземного канала доставки высокоточной ЭВИ с точки зрения ЭИОР, что подтверждено соответствующими актами. За счет этого удалось сократить количество необходимых экспертных суждений до 75% по сравнению с широко применяемым для подобных задач методом анализа иерархий.

Список сокращений и условных обозначений

ИК — инфокоммуникационный

ИКТ — инфокоммуникационные технологии

ИУС — информационно-управленческая сеть

КС — контрольная сеть

ЛПР — Лицо, принимающее решение

МСЭ — Международный союз электросвязи

ПМР — Приднестровская Молдавская Республика

СД — способ действий

СДВЭВИ — система доставки высокоточной эфемеридно-временной информации

СМО — Система массового обслуживания

СОИБ — система обеспечения индивидуальной безопасности

СУС — сенсорная управленческая сеть

ТАС — тензорный анализ сетей

ФОР — функция ограниченных ресурсов

ЦДИ — центр доверенного интегратора

ЧС — чрезвычайная ситуация

ЭВИ — эфемеридно-временная информация

ЭИОР — эффективность использования ограниченных ресурсов

IoT — Internet of Things

SRAM — Static Random Access Memory

Словарь терминов

Агрегированный показатель — число, полученное при помощи какого-либо метода многокритериальной оценки альтернатив на основании нескольких показателей.

Администрирование услуги — действия ЛПР по отбору СД, которые могут использоваться при оказании ИК услуги.

Выделенные ограниченные ресурсы — Вектор, компонентами которого являются величины ограниченных ресурсов разных типов, которыми пользователь и оператор услуги могут располагать при реализации подзадачи.

ИК услуга — услуга по передаче, обработке и хранению информации.

Конвергентная ИК услуга — ИК услуга, в которой используются различные виды сетей связи и вещания, медийных носителей (голоса, данных, видео), мобильных и стационарных терминалов.

Коэффициент ЭИОР — величина, показывающая, во сколько раз ожидаемый полезный эффект превышает количество ограниченных ресурсов, которое требуется выделить в худшем случае с выбранным уровнем доверия.

Критерий — простой показатель, являющийся частью агрегированного критерия ЭИОР.

Минимальный необходимый ограниченный ресурс — величина ограниченного ресурса определенного типа, которая требуется при каждой реализации пользовательской задачи

Необходимые ограниченные ресурсы — Вектор с компонентами, равными минимальному количеству выделенных ограниченных ресурсов, достаточных для реализации подзадачи.

Неудача — результат, удельная ценность которого равна нулю.

Обратная функция ограниченных ресурсов — функция, обратная к функции ограниченных ресурсов.

Объект оценки — сущность, на которую могут быть выделены ограниченные ресурсы: ИК услуга, технология, оператор ИК услуг и т. п.

Ограниченные ресурсы — материальные или нематериальные факторы, от распределения которых зависят технические ограничения.

Оператор услуги — субъект или нецелестребленная машинная система, которая может предоставлять услугу.

Подзадача — отдельный результат пользовательской задачи, кроме начального состояния.

Показатель — величина, которая может применяться для оценки ЭИОР непосредственно, без использования каких-либо методов многокритериальной оценки альтернатив

Пользователь ИК услуги — субъект в целеустремленном состоянии, в котором перед субъектом стоит пользовательская задача и имеется как минимум один оператор ИК услуги.

Пользовательская задача — задача, подзадачи в которой могут иметь результаты лишь двух типов: «успех» и «неудача», и характеризующаяся тем, что что потенциально может возникнуть большое число реализаций пользовательской задачи, в которых имеются один и тот же набор подзадач и возможных СД.

Реализация подзадачи (пользовательской задачи) — попытка достижения субъектом результата подзадачи (конечного результата пользовательской задачи).

Решение подзадачи (пользовательской задачи) — то же, что успешная реализация подзадачи (пользовательской задачи).

Требуемое число реализаций — Минимальное число реализаций, при котором выполнение пользовательской задачи признается эффективным

Требуемый ограниченный ресурс — минимальное количество ограниченных ресурсов данного типа, которое необходимо выделить на требуемое число реализаций (считая выделенные ограниченные ресурсы других типов фиксированными), чтобы вероятность выполнения всех этих реализаций была не ниже заранее определенного числа, называемого уровнем доверия.

Управление реализацией — процесс выбора пользователем или оператором услуги конкретного СД при решении подзадачи.

Уровень доверия — *См. определение требуемого ограниченного ресурса*

Услуга — процесс, при котором оператор услуги по поручению пользователя выполняет за пользователя некоторые подзадачи.

Успех — результат, удельная ценность которого отлична от нуля.

Успешная реализация подзадачи (пользовательской задачи) — реализация подзадачи (пользовательской задачи), при которой был достигнут успех.

Функция ограниченных ресурсов — функция требуемого числа реализаций, равная отношению требуемого ограниченного ресурса данного типа к требуемому числу реализаций при заданном количестве выделенных ограниченных ресурсов других типов

Эффективность использования ограниченных ресурсов — отношение величины полезного эффекта от объекта оценки к величине затраченных ограниченных ресурсов.

Список литературы

1. *Аджемов А. С.* Теоретические границы и возможности их достижения в будущих инфокоммуникациях // *Электросвязь*. — 2003. — № 11. — С. 15—18.
2. *Аджемов А. С., Васильев А. Б., Кучерявый А. Е.* Перспективные направления развития сетей связи общего пользования // *Электросвязь*. — 2008. — № 10. — С. 6—7.
3. *Акофф Р., Эмери Ф.* О целеустремленных системах. — Изд. 2, доп. — М. : URSS, 2008. — 272 с.
4. *Берил С. И., Назаренко А. П., Сарьян В. К., Сущенко Н. А., Узун И. Н.* Разработка показателей развития информационного общества, стимулирующих экономически оправданное внедрение новых информационных технологий в ПМР // *Материалы международн. науч.-практич. конференции «Роль государства в развитии экономики на современном этапе»*. — Тирасполь : Ликрис, 2014. — С. 175—178.
5. *Берил С. И., Назаренко А. П., Смоленский Н. Н., Саломатина Е. В.* Возможности и планы использования современных инфокоммуникационных технологий для повышения жизненного уровня социально-незащищенных жителей Приднестровской Молдавской Республики // *Материалы международн. науч.-практич. конференции «Роль государства в развитии экономики на современном этапе»*. — Тирасполь : Ликрис, 2014. — С. 169—174.
6. *Бутенко В. В., Назаренко А. П.* Основные положения концепции создания единой системы КВиНО Российской Федерации // *T-Comm*. — 2008. — № 2. — С. 20—24.
7. *Бутенко В. В., Назаренко А. П., Сарьян В. К.* IoT — новая точка развития ИКТ и средство кардинального повышения адаптивных возможностей человека при взаимодействии с ухудшающейся антропогенной окружающей средой // *Тр. 54-й науч. конференции МФТИ: Проблемы фундаментал. и*

- приклад. естеств. и техн. наук в соврем. информац. о-ве. Т. 1. I. Радиотехника и кибернетика. — М. : МФТИ, 2011. — С. 11—12.
8. *Бутенко В. В., Назаренко А. П., Сарьян В. К.* Массовые инфокоммуникационные услуги на базе координатно-временного и навигационного обеспечения — второй этап // Труды ИПА РАН. — СПб., 2013. — № 27. — С. 34—43.
 9. *Бутенко В. В., Назаренко А. П., Сарьян В. К., Лутохин А. С., Сущенко Н. А.* Проблемы, возникающие при внедрении новых технологий в инфокоммуникационном сообществе // Труды НИИР. — 2011. — № 1. — С. 12—19.
 10. *Бутенко В. В., Назаренко А. П., Сарьян В. К., Сущенко Н. А.* Основные направления исследований по определению эффективности использования ограниченных ресурсов в инфокоммуникационной области // Труды НИИР. — 2011. — № 3. — С. 3—11.
 11. *Бутенко В. В., Назаренко А. П., Сарьян В. К., Сущенко Н. А.* Оценка эффективности использования ограниченных ресурсов по критерию оказанных услуг // Программа двенадцатой международ. науч.-практич. конференции «Соврем. информац. и электрон. технологии»: Progr. науч.-техн. секций. — М. : МТУСИ, 2014. — С. 33.
 12. *Вентцель Е. С.* Исследование операций: задачи, принципы, методология. — 2-е изд. — М. : Наука, 1988. — 208 с. — (Пробл. науки и техн. прогресса).
 13. *Владимиров В. А.* [и др.] Управление риском: Риск. Устойчивое развитие. Синергетика. — М. : Наука, 2010. — 431 с. — (Серия "Кибернетика: неограниченные возможности и возможные ограничения").
 14. *Галин Р. Р., Мещеряков Р. В.* Методика оценки качества государственных услуг в сфере молодёжной политики // Качество. Инновации. Образование. — 2013. — № 10. — С. 61—65.
 15. *Гордиенко В. Н.* Телекоммуникационные и вычислительные системы // Электросвязь. — 2010. — № 2. — С. 58—61.

16. *Гордиенко В. Н., Коршунов В. Н.* Спектральная эффективность волоконно-оптической системы передачи // *Электросвязь*. — 2012. — № 1. — С. 53—56.
17. *Домрачев А. А., Исаков В. Б., Сарьян В. К.* Массовая информационно-управленческая сеть как пример построения доверенной среды // *Труды НИИР*. — 2012. — № 4. — С. 36—42.
18. *Ерохин С. Д.* Конвергентные услуги в России: история и перспективы развития.
19. *Ерохин С. Д.* Методы повышения эффективности использования радиочастотного спектра в широкополосных сетях передачи данных // *T-Comm*. — 2013. — № 1. — С. 29—32.
20. *Ерохин С. Д., Зайцева М. Ю.* Анализ спектральной эффективности современных широкополосных систем связи // *INTERMATIC-2010: Материалы VII международн. науч.-техн. конференции*. — М. : МИРЭА, 2010. — С. 166—169.
21. *Зацаринный А. А.* Об одном подходе к выбору системотехнических решений построения информационно-телекоммуникационных систем // *Системы и средства информатики*. — 2006. — Т. 16, № 1. — С. 65—71.
22. *Зацаринный А. А.* Основные принципы системного подхода при проектировании, внедрении и развитии современных корпоративных сетей // *Системы и средства информатики*. — 2002. — № 12. — С. 58—66.
23. *Зацаринный А. А., Ионенков Ю. С.* Методика выбора технических средств для построения телекоммуникационных сетей // *Системы и средства информатики*. — 2009. — Т. 19, № 2. — С. 4—14.
24. *Зацаринный А. А., Ионенков Ю. С.* Некоторые вопросы проектирования информационно-телекоммуникационных сетей // *Системы и средства информатики*. — 2008. — Т. 18, № 2. — С. 5—20.

25. *Исследование вопросов эффективности применения высокоточной эфемеридно-временной информации (ЭВИ), передаваемой потребителю по каналам связи в реальном времени.* отчет о НИР : № гос. регистрации 01201370756 : в 2 т. — М. : ФГУП НИИР, 2013.
26. *Крон Г.* Тензорный анализ сетей : Пер. с англ. — М. : Советское радио, 1978. — 720 с.
27. *Кучерявый А. Е.* Интернет вещей // *Электросвязь.* — 2013. — № 1. — С. 21—24.
28. *Кучерявый А. Е., Прокопьев А. В., Кучерявый Е. А.* Самоорганизующиеся сети. — СПб. : Любавич, 2011.
29. *Ланин Н. И., Беляева Л. А.* Что такое — социальная база модернизации? [Electronic resource] // Портал Российской академии наук. — 2012/14. — Сент. — Режим доступа: <https://www.ras.ru/news/shownews.aspx?id=eff20f41-11d1-4b38-9766-8036d129054d>.
30. *Лутохин А. С., Сущенко Н. А.* Система индивидуального оповещения абонентов о чрезвычайных ситуациях // Тр. 53-й науч. конференции МФТИ: Современ. проблемы фундам. и приклад. наук. Т. 1. I. Радиотехника и кибернетика. — М. : МФТИ, 2010. — С. 135—136.
31. *Международный союз электросвязи* Пособие по измерению доступа домашних хозяйств и частных лиц к ИКТ и масштабов масштабов их использования. — Женева : МСЭ, 2009. — 114 с.
32. *Назаренко А. П., Сарьян В. К., Сущенко Н. А.* Единый критерий оценки эффективности использования частотного спектра // *Электросвязь.* — 2009. — № 10. — С. 24—28.
33. *Назаренко А. П., Сарьян В. К., Сущенко Н. А., Лутохин А. С.* Использование современных инфокоммуникационных технологий для спасения людей при чрезвычайных ситуациях // *Электросвязь.* — 2014. — № 10. — С. 4.

34. Назаренко А. П., Сарьян В. К., Сущенко Н. А., Хижниченко А. Е., Ткаченко Д. А. Современные решения в области телевидения и сетей передачи данных // Труды НИИР. — 2012. — № 4. — С. 22—29.
35. Назаренко А. П., Сарьян В. К., Сущенко Н. А., Шелупанов А. А., Беляков К. О., Мещеряков Р. В. Перспективы использования информационно-управленческих сетей для информатизации образования // Материалы международной науч.-практич. конференции «Информационные и коммуникационные технологии в науке, образовании и производстве». — Тирасполь : Ликрис, 2012. — С. 6—11.
36. Нейман В. И. Решающий этап информационной революции // Электросвязь. — 2010. — № 1. — С. 27—32.
37. Обеспечение личной безопасности в чрезвычайных ситуациях. // Новости МСЭ. — 2012. — С. 47—49. — Подгот. при участии В. В. Бутенко, А. П. Назаренко, В. К. Сарьяна, Н. А. Сущенко, А. С. Лутохина.
38. Организация объединенных наций Цели развития тысячелетия: доклад за 2013 год. — Нью-Йорк, 2013.
39. Петров А. Е. Тензорная методология в теории систем. — М. : Радио и связь, 1985. — 152 с. — (Кибернетика).
40. Петров А. Е. Тензорный метод двойственных сетей. — М. : Центр информац. технологий в природопользовании, 2007. — 496 с. — (Кибернетика).
41. Подиновский В. В. Введение в теорию важности критериев. — М. : Физматлит, 2007. — 64 с. — (Анализ и поддержка решений).
42. Саати Т. Л. Принятие решений при зависимостях и обратных связях. — 2-е изд. — М. : Либроком, 2009. — 360 с.
43. Савчук А. С., Самуйлов К. Е., Чукарин А. В. О стандартизации бизнес-процессов для компаний отрасли связи // Электросвязь. — 2006. — № 6. — С. 39—45.

44. *Савчук М. В., Мещеряков Р. В.* Методика оценки рисков при внедрении ERP-систем на предприятиях // *Качество. Инновации. Образование.* — 2012. — № 8. — С. 61–63.
45. *Самуйлов К. Е., Серебренникова Н. В., Чукарин А. В., Яркина Н. В.* Основы формальных методов описания бизнес-процессов. — М. : РУДН, 2008. — 130 с.
46. *Сарьян В. К.* Входные потоки в сетях массового обслуживания // *Электросвязь.* — 2008. — № 4. — С. 34–39.
47. *Сарьян В. К.* Кинетика сетей передачи данных. Постановка проблемы // *Труды НИИР.* — 2003. — № 10.
48. *Сарьян В. К.* Массовые информационно-управленческие сети — основа инфокоммуникационной среды будущего // IV Международ. отраслевая науч.-техн. конференция «Технологии информац. о-ва»: Progr. науч.-техн. секций. — М. : МТУСИ, 2010.
49. *Сарьян В. К.* Новый способ структуризации сетей передачи данных // *Труды НИИР.* — 2001.
50. *Сарьян В. К.* Определение эффективности телерадиовещания в современных условиях // *Broadcasting.* — 2005. — № 2. — С. 42–45.
51. *Сарьян В. К., Дубнов Д. В.* Семантическая аномалия типовых информационных процессов: геометрический подход // *Труды НИИР.* — 2007. — № 1. — С. 55–60.
52. *Сарьян В. К., Дубнов Д. В.* Типовые информационные процессы в инфокоммуникационной среде и биологические сообщества // *Труды НИИР.* — 2008. — № 4. — С. 25–32.
53. *Сарьян В. К., Иванкович М. В., Куракова Т. П., Сущенко Н. А.* Социотехнические стандарты как средство управления глобальным развитием инфокоммуникационных технологий // VIII Международ. отраслевая науч.-техн. конференция «Технологии информац. о-ва»: Progr. науч.-техн. секций. — М. : МТУСИ, 2014. — С. 33.

54. *Сарьян В. К., Лутохин А. С., Сущенко Н. А.* Сенсорные управленческие сети как новое приложение для сетей следующего поколения // Труды НИИР. — 2011. — № 1. — С. 20–23.
55. *Сарьян В. К., Поглазов П. С.* Вопросы построения доверенных сред в различных областях человеко-машинного взаимодействия // Тр. 55-й науч. конференции МФТИ: Проблемы фундаментал. и приклад. естеств. и техн. наук в соврем. информац. о-ве. Т. 2. Радиотехника и кибернетика. — М. : МФТИ, 2012. — С. 72–73.
56. *Сарьян В. К., Сущенко Н. А.* Использование Data Envelopment Analysis (DEA) для расчета эффективности использования частотного спектра в инфокоммуникационной среде (ИКС) // Труды НИИР. — 2009. — № 1. — С. 75–79.
57. *Сарьян В. К., Сущенко Н. А.* Перспективы использования Больших Данных для определения показателей развития ИКТ // Труды НИИР. — 2012. — № 4. — С. 30–35.
58. *Сарьян В. К., Сущенко Н. А.* Применение тензорного исчисления для определения эффективности использования ограниченных ресурсов // Тр. 55-й науч. конференции МФТИ: Проблемы фундаментал. и приклад. естеств. и техн. наук в соврем. информац. о-ве. Т. 2. Радиотехника и кибернетика. — М. : МФТИ, 2012. — С. 65–66.
59. *Сарьян В. К., Сущенко Н. А.* Разработка модели инфокоммуникационных услуг на основе теории целеустремленных систем // Труды НИИР. — 2014. — № 2. — С. 16–25.
60. *Сарьян В. К., Сущенко Н. А., Дубнов И. А., Дубнов Ю. А., Сахно С. В., Лутохин А. С.* Прошлое, настоящее и будущее стандартизации интернета вещей // Труды НИИР. — 2014. — № 1. — С. 1–7.
61. Способ обеспечения безопасности жизнедеятельности людей : пат. 2445708 Рос. Федерация / В. В. Бутенко, А. П. Назаренко, В. К. Сарьян, А. Л. Шишкин, А. С. Лутохин, Н. А. Сущенко, Е. А. Ильяич, В. И. Травуш,

- С. Н. Трубицин ; ФГУП НИИР. — № 2009130733/08 ; заявл. 20.02.2012, приоритет 12.08.2009 (США). — 6 с.
62. Способ обеспечения взаимодействия мобильных терминалов с сенсорной сетью и терминал сенсорной сети, обеспечивающий взаимодействие мобильных терминалов с сенсорной сетью : пат. 2455775 Рос. Федерация / В. В. Бутенко, А. П. Назаренко, В. К. Сарьян, А. С. Лутохин, Н. А. Сущенко, О. И. Хегай ; ФГУП НИИР. — № 2011123087/08 ; заявл. 10.07.2012, приоритет 08.06.2011 (США). — 9 с.
63. Способ оповещения мобильных коммуникационных устройств о чрезвычайных ситуациях и устройство, его реализующее : пат. 2460143 Рос. Федерация / В. В. Бутенко, А. П. Назаренко, В. К. Сарьян, А. С. Лутохин, Н. А. Сущенко, О. И. Хегай ; ФГУП НИИР. — № 2011119729/08 ; заявл. 27.08.2012, приоритет 17.05.2011 (США). — 6 с.
64. Способ приёма абонентом программы действий при чрезвычайной ситуации (варианты) : пат. 2400819 Рос. Федерация / В. В. Бутенко, А. П. Назаренко, В. К. Сарьян, Н. А. Сущенко, А. С. Лутохин ; ФГУП НИИР. — № 2009126327/11 ; заявл. 27.09.2010, приоритет 10.07.2009 (США). — 11 с.
65. *Сущенко Н. А.* Использование имеющихся статистических данных для расчета полезного эффекта от использования радиотехнологий // Труды НИИР. — 2011. — № 4. — С. 14—19.
66. *Сущенко Н. А.* Построение тензорной модели сенсорной управленческой сети для оценки эффективности использования ограниченных ресурсов // VII Международ. отраслевая науч.-техн. конференция «Технологии информац. о-ва»: Progr. науч.-техн. секций. — М. : МТУСИ, 2013.
67. *Сущенко Н. А.* Применение тензорного анализа сетей для различных задач оценки эффективности в сенсорных управленческих сетях // Тр. 56-й науч. конференции МФТИ: Современ. проблемы фундам. и приклад. наук. — М. : МФТИ, 2013.

68. *Сущенко Н. А.* Применение теории типовых процессов для оценки эффективности использования ограниченных ресурсов // Труды НИИР. — 2011. — № 1. — С. 21–28.
69. *Сущенко Н. А.* Разработка модел оценки эффективности использования ограниченных ресурсов в области инфокоммуникаций // VIII Международ. отраслевая науч.-техн. конференция «Технологии информац. о-ва»: Progr. науч.-техн. секций. — М. : МТУСИ, 2014. — С. 33.
70. *Сущенко Н. А.* Формализация задачи оценки эффективности использования ограниченных ресурсов в информационно-управленческих сетях // VII Международ. отраслевая науч.-техн. конференция «Технологии информац. о-ва»: Progr. науч.-техн. секций. — М. : МТУСИ, 2013. — С. 33.
71. *Сущенко Н. А., Лутохин А. С.* Выбор модулей беспроводной сенсорной сети для системы обеспечения индивидуальной безопасности // Тр. 56-й науч. конференции МФТИ: Современ. проблемы фундам. и приклад. наук. — М. : МФТИ, 2013.
72. *Флербе М.* За пределами ВВП: в поисках меры общественного благосостояния. Часть II // Вопросы экономики. — 2012. — № 3. — С. 5–20.
73. *Шеннон К.* Работы по теории информации и кибернетике : Пер. с англ. — М. : ИИЛ, 1963. — 830 с.
74. *Яновский Г. Г.* Конвергенция в инфокоммуникациях [Electronic resource]. — СПб., 2010. — Режим доступа: http://seti.sut.ru/admin61/editor_files/file_upload/conv_info.pdf.
75. *Barbour I. G.* Technology, environment, and human values. — Praeger, 1980. — 342 с.
76. *Bauer M., Heiber T., Kortuem G., Segall Z.* A collaborative wearable system with remote sensing // 2012 16th International Symposium on Wearable Computers. — IEEE Computer Society. 1998. — С. 10–10.

77. *Blomenhofer H., Ehret W., Leonard A., Blomenhofer E.* GNSS/Galileo Global and Regional Integrity Performance Analysis // Proceedings of the 17th International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation (ION GNSS 2004). — Long Beach Convention Center, 2004. — С. 2158–2168.
78. *Brans J.-P., Vincke P., Mareschal B.* How to select and how to rank projects: The PROMETHEE method // European journal of operational research. — 1986. — Т. 24, № 2. — С. 228–238.
79. *Butenko V., Nazarenko A., Saryan V., Suschenko N.* Issues affecting the evaluation of the beneficial effect of new technologies and ways to solve these issues // 23rd European Regional Conference of the International Telecommunication Society. — Vienna, 2012.
80. *Carlsson S. A.* An Attention-Based View on DSS // Encyclopedia of Decision Making and Decision Support Technologies. Т. 1. — New York : Hershey, 2008. — С. 38–44.
81. *DeGarmo T.* Message from the editor // Technology Forecast. — 2010: — Making sense of Big Data. — С. 2–3.
82. *Eurostat* Methodological manual for statistics on the Information Society: Survey year 2013, v. 3. — Eurostat, 2013. — 206 с.
83. *Haas P. J.* Quantile Estimation [Electronic resource]. — Stanford, 2005. — Режим доступа: <http://web.stanford.edu/class/msande223/handouts/lecturenotes09.pdf>. Lecture Notes 9.
84. Handbook on data envelopment analysis / под ред. W. W. Cooper, L. M. Seiford, J. Zhu. — 2-е изд. — New York : Springer, 2011. — 498 с. — (International series in operations research & management science).
85. *Harris C. M.* The Pareto distribution as a queue service discipline // Operations Research. — 1968. — Т. 16, № 2. — С. 307–313.
86. *Hubbard D. W.* How to Measure Anything: Finding the Value of Intangibles in Business. — 2-е изд. — New York : Wiley, 2010. — 320 с.

87. *Information Society W. S. on the Declaration of Principles* [Electronic resource] : Building the Information Society: a global challenge in the new Millennium. — Geneva, 2003. — Режим доступа: <http://www.itu.int/wsis/docs/geneva/official/dop.html>.
88. *Information Society W. S. on the Plan of Action* [Electronic resource]. — Geneva, 2003. — Режим доступа: <http://www.itu.int/wsis/docs/geneva/official/poa.html>.
89. *International Telecommunication Union Measuring the Information Society*. — Geneva : ITU, 2013. — 233 с.
90. *ITU Telecommunication Standardization Sector Applications of Wireless Sensor Networks in Next Generation Networks* [Electronic resource] : Technical Paper. — 94 с. — Режим доступа: http://www.itu.int/dms_pub/itu-t/opb/tut/T-TUT-NGN-2014-PDF-E.pdf. Dev. by V. Butenko, A. Nazarenko, V. Sarian, N. Sushchenko and A. Lutokhin.
91. *Jonkman S. N., Lentz A., Vrijling J. K. A general approach for the estimation of loss of life due to natural and technological disasters // Reliability Engineering & System Safety*. — 2010. — Ноябрь. — Т. 95, вып. 11. — С. 1123—1133.
92. *Mandelbrot B. B. Fractals and scaling in finance: discontinuity, concentration, risk*. — New York : Springer, 2010. — 551 с.
93. *Nazarenko A., Saryan V., Suschenko N., Lutokhin A. Sensor control networks and their applications // Internet of Things and its Enablers: Conference, State University of Telecommunication, St. Petersburg, Russia, June 3–4, 2013 : proceedings*. — St. Petersburg : Lubavich, 2013. — С. 29—45.
94. *Organisation for Economic Co-operation and Development OECD Guide to Measuring the Information Society 2011*. — Paris : OECD Publishing, 2011. — 204 с.
95. *Rohman I. K., Bohlin E. Towards the alternative measurement: Discovering the relationships between technology adoption and quality of life in Indonesia* [Electronic resource] // 22nd European Regional Conference of the International

- Telecommunications Society. — 2011. — Режим доступа: <http://hdl.handle.net/10419/52206>.
96. *Roy B.* The outranking approach and the foundations of ELECTRE methods // *Theory and decision*. — 1991. — Т. 31, № 1. — С. 49–73.
97. *Salonidis T., Bhagwat P., Tassiulas L.* Proximity awareness and fast connection establishment in Bluetooth // *Proceedings of the 1st ACM international symposium on Mobile ad hoc networking & computing*. — IEEE Press. 2000. — С. 141–142.
98. *Savage S. L.* *The Flaw of Averages: Why We Underestimate Risk in the Face of Uncertainty*. — New York : Wiley. — 416 с.
99. *SM.1046-2.* Определение использования радиочастотного спектра и эффективности радиосистемы: Рекомендация МСЭ-R. — введ. 05.2006. — Женева : Международный союз электросвязи, 2006. — 45 с.
100. *Suschenko N., Nazarenko A., Sarian V., Lutokhin A.* Assessment Of New Information And Communication Technologies using activity-based costing and tensor analysis of networks // *Proceedings of the 2014 ITU Kaleidoscope Academic Conference: Living in a converged world — impossible without standards?* — St. Petersburg : ITU, 2014. — С. 269–274.
101. *Taleb N. N.* *Antifragile: Things That Gain from Disorder*. — Reprint edition. — New York : Random House Publishing Group, 2014. — 544 с. — (Incerto).
102. *Taleb N. N.* *The Black Swan: The Impact of the Highly Improbable Fragility*. — 2-е изд. — New York : Random House Publishing Group, 2010. — 444 с. — (Incerto).
103. *United Nations Conference on Trade and Development* *Manual for the Production of Statistics on the Information Economy*. — Geneva, New York : United Nations, 2007. — 171 с.

104. *United Nations Conference on Trade and Development* Measuring the Impacts of Information and Communication Technology for Development. — Switzerland : United Nations, 2011. — 23 c. — (UNCTAD Current Studies on Science, Technology and Innovation ; 3).
105. Y.2222. Sensor Control Networks and related applications in Next Generation Network environment: ITU-T Recommendation. — approved 04/2013. — Geneva : International Telecommunication Union, 2013. — 30 c.

Приложение. Акты о внедрении

ИНСТИТУЦИЯ ДЕ
БІНВЭЦЭМЫНТ ДЕ СТАТ
“УНІВЕРСАТАЯ ДЕ СТАТ
НІСТРЯНЭ” Т. Г. ШЕВЧЕНКО”

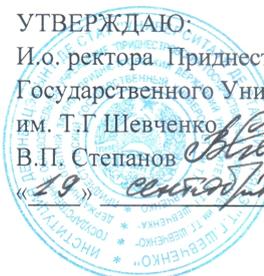


ДЕРЖАВНИЙ
ОСВІТНІЙ ЗАКЛАД
“ПРИДНІСТРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ ІМ. Т.Г. ШЕВЧЕНКА”

ГОСУДАРСТВЕННОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
“ПРИДНЕСТРОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ им. Т.Г. ШЕВЧЕНКО”

19.09.2014 № 2297

УТВЕРЖДАЮ:
И.о. ректора Приднестровского
Государственного Университета
им. Т.Г. Шевченко
В.П. Степанов
«19» сентября 2014 г.



А к т

О внедрении научных результатов, полученных Сущенко Николаем Анатольевичем в диссертационной работе «Разработка методики оценки эффективности использования ограниченных ресурсов при оказании конвергентных инфокоммуникационных услуг».

Комиссия в составе:

Председатель комиссии: Смоленский Николай Николаевич, декан экономического факультета, заведующий кафедрой экономики и менеджмента, к.с/х.н., доцент.

Члены комиссии: Саломатина Елена Васильевна, заведующая кафедрой прикладной информатики, старший преподаватель.

Коваленко Сергей Александрович, старший преподаватель кафедры прикладной информатики.

Составила настоящий акт о том, что научные результаты, полученные Сущенко Николаем Анатольевичем в диссертационной работе «Разработка методики оценки эффективности использования ограниченных ресурсов при оказании конвергентных инфокоммуникационных услуг», внедрены в проекте ПГУ им. Т.Г. Шевченко «Исследование нужд социально незащищенных слоев населения Приднестровской Молдавской Республики и формирование услуг повседневного спроса для данной категории с использованием информационно - коммуникационных технологий», а также использованы при чтении лекций, проведении практических и лабораторных работ по дисциплине

« Управление IT-сервисами и контентом »

Председатель: _____

Члены комиссии: _____

(Handwritten signatures)

Смоленский Н.Н.
Саломатина Е.В.
Коваленко С.А.

МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
 (ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ)
ФАКУЛЬТЕТ РАДИОТЕХНИКИ И КИБЕРНЕТИКИ
БАЗОВАЯ КАФЕДРА
«РАДИО И ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ» ПРИ ФГУП НИИР

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой Радио и
информационных технологий ФРТК МФТИ



д.т.н. В. В. Бутенко

_____ 2014 г.

СОГЛАСОВАНО

Заместитель декана ФРТК МФТИ по
аспирантуре, международной деятельности,
дополнительным направлениям подготовки

к.т.н. Л.К. Ужинская



_____ 2014 г.

А К Т

**Федерального государственного унитарного предприятия Ордена
Трудового Красного Знамени научно-исследовательского института радио
(ФГУП НИИР) о внедрении научных результатов,
полученных Сущенко Николаем Анатольевичем в диссертационной работе
«Разработка методики оценки эффективности использования
ограниченных ресурсов при оказании конвергентных
инфокоммуникационных услуг».**

Комиссия в составе: зам. зав. кафедрой Радио и информационных технологий Факультета радиотехники и кибернетики (ФРТК) Московского физико-технического института (государственного университета) (МФТИ) при ФГУП НИИР, к.т.н. А.П.Назаренко и к.т.н., доцента Пустовойтова Е. Л.

установила, что результаты исследований, выполненных Н. А. Сущенко в диссертационной работе «Разработка методики оценки эффективности использования ограниченных ресурсов при оказании конвергентных инфокоммуникационных услуг», внедрены в курс лекций «Основы теории взаимодействия структур и человекомашинных объектов в современной инфокоммуникационной среде», читаемый на кафедре с 07.02.2013 г. по 30.06.2013 г.

Члены комиссии




А. П. Назаренко

Е. Л. Пустовойтов

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор ФГУП НИИР



д.т.н. В. В. Бутенко

« _____ » 2014 г.

Акт

**Федерального государственного унитарного предприятия Ордена
Трудового Красного Знамени научно-исследовательского института
радио (ФГУП НИИР) о внедрении научных результатов,
полученных Сущенко Николаем Анатольевичем в диссертационной
работе «Разработка методики оценки эффективности использования
ограниченных ресурсов при оказании конвергентных
инфокоммуникационных услуг».**

Комиссия в составе: Директора НТЦ — Заместителя Генерального директора ФГУП НИИР, к.т.н. А. П. Назаренко и Начальника отдела 093-019, к.т.н. Ю. В. Слобцова, установила, что результаты исследований, выполненных Н. А. Сущенко в диссертационной работе «Разработка методики оценки эффективности использования ограниченных ресурсов при оказании конвергентных инфокоммуникационных услуг», внедрены в следующие работы, выполняемые ФГУП НИИР в рамках федеральной целевой программы «Поддержание, развитие и использование системы ГЛОНАСС на 2012-2020 годы»:

1. Научно-исследовательской работе «Исследование вопросов эффективности применения высокоточной эфемеридно-временной информации (ЭВИ), передаваемой потребителю по каналам связи в реальном времени» (заказчик - Федеральное государственное унитарное предприятие «Центральный научно-исследовательский институт машиностроения»).

2. Опытно-конструкторской работе «Создание глобальной системы высокоточного определения навигационной и эфемеридно-временной информации для гражданских потребителей в части разработки технологий и принципов построения подсистемы доставки высокоточной навигационной и эфемеридно-временной информации по общедоступным коммуникационным каналам связи в режиме реального времени» (заказчик - открытое акционерное общество «Научно-производственная корпорация «Системы прецизионного приборостроения»).

Члены комиссии

А. П. Назаренко

Ю. В. Слобцов



ФЕДЕРАЛЬНОЕ КОСМИЧЕСКОЕ АГЕНТСТВО

Федеральное государственное унитарное предприятие
«ЦЕНТРАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ МАШИНОСТРОЕНИЯ» (ФГУП ЦНИИмаш)



ул. Пионерская, д. 4, г. Королёв,
Московская область, 141070

Тел. (495) 513-59-51
Факс (495) 512-21-00

E-mail: corp@tsniimash.ru
http://www.tsniimash.ru

ОКПО 07553682, ОГРН 1025002032791
ИНН/КПП 5018034218/501801001

28.10.2014 исх. № ЦАЦ - 1406
на № _____ от _____

Утверждаю

Начальник ИАЦ КВНО

С.Н. Карутин

_____ 2014 г.

**Акт**

Федерального государственного унитарного предприятия «Центральный научно-исследовательский институт машиностроения» (ФГУП ЦНИИмаш) о внедрении научных результатов, полученных Сущенко Николаем Анатольевичем в диссертационной работе «Разработка методики оценки эффективности использования ограниченных ресурсов при оказании конвергентных инфокоммуникационных услуг».

Комиссия в составе:

Председателя комиссии Начальника ИАЦ КВНО,
кандидата технических наук
Карутина С.Н.

Членов комиссии: Начальника отдела 3004,
кандидата технических наук
Игнатовича Е.И.
Заместителя начальника отдела 3004,
Можарова И.В.
Ученого секретаря секции №3 НТС,
Золкина И.А.

016517 *

составила настоящий акт о том, что научные результаты, полученные Сущенко Николаем Анатольевичем в диссертационной работе «Разработка методики оценки эффективности использования ограниченных ресурсов при оказании конвергентных инфокоммуникационных услуг», внедрены в научно-исследовательскую работу «Анализ проблем развития НАП, обеспечивающей прием и обработку высокоточной ЭВИ и корректирующей информации, передаваемой, в том числе, по каналам цифрового радиовещания» выполненную в 2013 году в соответствии с договором и ТЗ от 26.06.2013 № (151-3000-2012)-3000/277-2013 между ФГУП ЦНИИмаш и ФГУП НИИР в рамках этапа 2.1 НИР «Системные и комплексные научные исследования направлений развития системы ГЛОНАСС» (шифр НИР «Развитие», госконтракт №851-Г060/12) и отражены в НТО № 851-Г060/12-2.1-2013-3004-(277-01-2013-01-4/555-03-01).


_____ Игнатович Е.И.


_____ Можаров И.В.


_____ Золкин И.А.