Государственная Дума Федерального Собрания Российской Федерации

Министерство транспорта Российской Федерации

Правительство Москвы

7-й РОССИЙСКИЙ МЕЖДУНАРОДНЫЙ КОНГРЕСС ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫМ ТРАНСПОРТНЫМ СИСТЕМАМ

7th RUSSIAN INTERNATIONAL CONGRESS ON INTELLIGENT TRANSPORT SYSTEMS

21–22.10.2015

Москва / Moscow

Московский государственный университет путей сообщений (МИИТ)
Moscow State University of Railway Engineering (MIIT)

Организатор / Organizer

Международная академия транспорта

International Transport Academy

www.itamain.com

Генеральный партнер/ /General Partner

Партнеры / Partners

По вопросам участия в конгрессе
Participation contacts
+7(495) 956 24 67, +7(495) 965 14 13
center@itamain.com

T•Comm
Телекоммуникации и транспорт
ТОМ 9. №5-2015

Журнал включен в перечень периодических научных изданий, рекомендуемый ВАК Минобразования России для публикации научных работ, отражающих основное научное содержание кандидатских и докторских диссертаций.

Учредитель
ООО "Издательский дом Медиа Паблишер"

Главный редактор
Тихвинский Валерий Олегович

Издатель
Дымкова Светлана Сергеевна
ds@media-publisher.ru

Редакционная коллегия

Аджемов Артём Сергеевич
(д.т.н., профессор, ректор МТУСИ), Россия

Алексеев Евгений Борисович
(д.т.н., профессор, МТУСИ), Россия

Бугаев Александр Степанович
(академик РАН), Россия

Вааль Альберт
(д.т.н., старший научный сотрудник Ганноверского университета им. Лейбница на кафедре коммуникационной техники), Германия

Головачев Юлиус
(управляющий консультант Detecon Intarnational GmBH), Германия

Дулкейтс Эрик
(д.т.н., старший исполнительный директор корпорации Detecon), Силиконовая долина, США

Зубарев Юрий Борисович
(д.т.н., член-корреспондент РАН, заслуженный деятель науки РФ, зам. председателя экспертного совета ВАК по электронике, радиотехнике и связи), Россия

Кирхгесснер Юрий
(д.т.н., Директор IncotelogyLtd.), Великобритания

Корбетт Ровэлл
(д.т.н., директор по исследованиям в научно-исследовательском центре China Mobile Research Institute, профессор университета Назарбаева), Гон-Конг (Китай), США

Кузовкова Татьяна Алексеевна
(д.э.н., декан экономического факультета МТУСИ), Россия

Кюркчан Александр Гаврилович
(д.ф-м.н., профессор ФГОБУ ВПО МТУСИ), Россия

Сеилов Шахмаран Журсинбекович
(д.э.н., Президент Казахской академии инфокоммуникаций), Казахстан

Сысоев Николай Николаевич
(д.ф-м.н., декан физического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова), Россия

Шарп Майкл
(д.э.н., вице-президент европейского института стандартизации – ETSI), Великобритания

www.media-publisher.ru

СОДЕРЖАНИЕ

РЕПОРТАЖ

27-я Международная выставка "Связь-Экспокомм-2015" и первый большой Медиа-коммуникационный форум 5

Навигационный рынок – перезагрузка. Новые маршруты 7

СВЯЗЬ

Вишневский В.М., Кришнамурти А., Козырев Д.В., Ларионов А.А., Иванов Р.Е.
Методы исследования и проектирования широкополосных беспроводных сетей вдоль протяженных транспортных магистралей 9

Зельманов С.С.
Энергетический обнаружитель одиночных импульсных помех с фиксированным и следящим порогом 16

Игнатов А.В., Шувалов В.П.
Надежность сетей абонентского доступа LR-PON 25

Симаков Д.В., Кучин А.А.
Анализ статистических характеристик Интернет-трафика в магистральном канале 31

ЭЛЕКТРОНИКА. РАДИОТЕХНИКА

Кухаренко А.С., Елизаров А.А.
Анализ физических особенностей метаматериалов и частотно-селективных СВЧ-устройств на их основе 36

Лемешко Н.В., Захарова С.С.
Критерий декомпозиции линейных проводников при расчете электромагнитных полей 42

Локтев Д.А.
Определение геометрических параметров объекта с помощью анализа серии его изображений 47

Рысин Ю.С.
О влиянии ненормированных параметров акустических сигналов и шумов на человека 54

Школьный С.И.
Способ модернизации SFN DVB-T 57

Варламов О.В.
Способ организации глобальной сети цифрового радиовещания в диапазоне ДВ 63

ТРАНСПОРТ

Шаталова Н.В., Бахарев Т.С.
Методы и геоинформационные технологии, применяемые для расчета пораженности территории линейно-эрозионными процессами в социально значимых зонах в условиях насыщенности территории города транспортными инженерно-техническими сооружениями 69

Птицын Г.А.
Поиск способов уменьшения активного транзита 74

ЭКОНОМИКА

Артемьева Г.С., Куликова К.Н., Резникова Н.П.
Совершенствование контрольной функции в межгосударственной организации специальной компетенции для перехода к менеджменту, ориентированному на результаты 79

ПУБЛИКАЦИИ НА АНГЛИЙСКОМ ЯЗЫКЕ

Иевлев О.П.
Парадоксы современных телекоммуникационных сетей 86

Леваков А.К., Соколов А.Н., Соколов Н.А.
Модели входящего потока заявок в пакетных сетях 91

CONTENT

REPORT

27th International Exhibition "ExpoComm-2015" and the first Media and communications forum 5

Navigation market - reload. New routes 7

COMMUNICATIONS

Vishnevsky V.M., Krishnamoorthy A., Kozyrev D.V., Larionov A.A., Ivanov R.E.
Methods for research and building up the broadband wireless Communication networks along the long transport routes 9

Zelmanov S.S.
Energetik detector of single impulse interference with fixed and tracing threshold 16

Ignatov A.V., Shuvalov V.P.
The reliability of subscriber access networks LR-PON 25

Simakov D.V., Kuchin A.V.
Analysis of statistical characteristics of the internet-traffic in a backbone link 31

ELECTRONICS. RADIO ENGINEERING

Kukharenko A.S., Yelizarov A.A.
Analysis of metamaterial physical features and constituted frequency-selective devices 36

Lemeshko N.V., Zakharova S.S.
Criterion decomposition linear conductor electromagnetic fields in calculating 42

Loktev D.A.
The definition of geometric parameters of the object by analyzing a series of images 47

Rysin Yu.S.
Nonstandardized parameters of acoustic signals and noises affecting a per person 54

Shkolniy S.I.
Method of DVB SFN optimization 57

Varlamov O.V.
Method of organization global digital radio broadcasting network in the LW BAND

TRANSPORT 63

Shatalova N.V., Baharev T.S.
Methods and geo-information technologies used for evaluation of territory infestation with linear erosion processes in socially important areas under conditions of transport engineering and technical constructions density of urban territory 69

Ptitsyn G.A.
Research in active transit reducing 74

ECONOMY

Reznikova N.P., Artemieva G.S., Kulikova K.N.
Improvement of control function in the interstate specialized organization for the transition to result-oriented management 79

PUBLICATIONS IN ENGLISH

Ievlev O.P.
The paradoxes of modern telecommunication networks 86

Levakov A.K., Sokolov A.N., Sokolov N.A.
Models of incoming traffic in packet networks 91

T•Comm
Telecommunications and transport
Volum 9. №5-2015

The journal is included in the list of scientific publications, recommended Higher Attestation Commission Russian Ministry of Education for the publication of scientific works, which reflect the basic scientific content of candidate and doctoral theses.

Founder
"Media Publisher", Ltd.

Publisher
Dymkova Svetlana Sergeevna
ds@media-publisher.ru

Editor in Chief
Dr. Valery Tikhvinskiy

Editorial board

Adzhemov Artem S.
Professor, Rector MTUCI, Russia

Alekseev Evgeny B.
Full Professor:, MTUCI, Russia

Bugaev Alexander S.
Academician of the RAS, Russia

Corbett Rowell
Full Professor: Electronic & Electrical Engineering Nazarbayev University, Hong Kong (China), USA

Golovachyov Julius
Managing Consultant Detecon International GmBH, Germany

Dulkeyts Eric
Ph.D., chief executive officer of the corporation Detecon, USA

Kirhgessner Yuri
Ph.D., Director IncotelogyLtd., United Kingdom

Kuzovkova Tatyana A.
PhD, Dean of the Faculty of Economics MTUCI, Russia

Kyurkchan Alexander G.
Doctor of sciences, Professor MTUCI, Russia

Seilov Shakhmaran Zh.
PhD, President of the Kazakh Academy of Infocomm, Kazakhstan

Sharpe Michael
PhD, vice-president of the European Standards Institute – ETSI, United Kingdom

Sysoev Nikolai N.
Doctor of sciences., Dean of the Faculty of Physics of Moscow State University. Lomonosov, Russia

Waal Albert
Ph.D., Senior Research Fellow University of Hanover. Leibniz at the Department of Communications Technology, Germany

Zubarev Yuri B.
Ph.D., corresponding member of the Russian Academy of Sciences, Honored Scientist of Russia, Deputy. Chairman of the Expert Council WAC electronics, radio and communications, Russia

All artocles and illustrations are copyryght. All rights reserved. No reproduction is permitted in whole or part without the express consent of Media Publisher Joint-Stock Company

© "Media Publisher", 2015

www.media-publisher.ru

Заказ журналов:
• по каталогу **"Роспечать"** (индекс 80714)
• **в редакции** (t-comm@yandex.ru)

Региональные подписные агентства
http://www.media-publisher.ru/raspr.shtml

Периодичность выхода — 12 номеров в год
Стоимость одного экземпляра 500 руб.

Целевая аудитория по распространению

• Телекоммуникационные компании • Дистрибьюторы телекоммуникационного оборудования и услуг • Разработчики и производители абонентского оборудования • Энергетические компании • Автотранспортные предприятия • Компании, занимающиеся железнодорожными, воздушными и морскими перевозками • Провайдеры охранно-поисковых услуг • Геодезические и картографические организации • Государственные ведомства и организации; • Строительные компании • Профильные учебные заведения

Тираж 3000 экз. + Интернет-версия

Адрес редакции
111024, Россия, Москва,
ул. Авиамоторная, д. 8, офис 512-514
e-mail: t-comm@yandex.ru
Тел.: +7 (495) 957-77-43

РЕДАКЦИЯ

Издатель
Светлана Дымкова (ds@media-publisher.ru)

Директор отдела развития и рекламы
Ольга Дорошкевич (ovd@media-publisher.ru)

Отдел распространения и подписки
info@media-publisher.ru

Предпечатная подготовка
ООО "ИД Медиа Паблишер"

Поддержка Интернет-портала
Сергей Александян

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия. Свидетельство о регистрации: ПИ № ФС77-27364.
Язык публикации: русский, английский.

Мнения авторов не всегда совпадают с точкой зрения редакции.
За содержание рекламных материалов редакция ответственности не несет

Материалы, опубликованные в журнале — собственность ООО "ИД Медиа Паблишер". Перепечатка, цитирование, дублирование на сайтах допускаются только с разрешения издателя

Плата с аспирантов за публикацию рукописи не взимается

© ООО "ИД Медиа Паблишер", 2015

Издательство

ПОЛНЫЙ ЦИКЛ ПОДГОТОВКИ КНИГ, ПЕРИОДИЧЕСКИХ ИЗДАНИЙ И РЕКЛАМНОЙ ПРОДУКЦИИ — ЭКСКЛЮЗИВНЫЙ ДИЗАЙН

ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ЛИТЕРАТУРНОЕ И ТЕХНИЧЕСКОЕ РЕДАКТИРОВАНИЕ

ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННАЯ ОФСЕТНАЯ И ЦИФРОВАЯ ПЕЧАТЬ В КРАТЧАЙШИЕ СРОКИ

ДОСТАВКА ГОТОВОГО ТИРАЖА

Индексирование журнала T-Comm

научно-технический журнал
T-Comm
Телекоммуникации и Транспорт

Ulrich's Periodicals Directory — ULRICHSWEB GLOBAL SERIALS DIRECTORY
Google Scholar — Google scholar
NEICON — NEICON
ВИНИТИ РАН — крупнейший российский и мировой информационный и аналитический центр
CyberLeninka (Open Science)
Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU — НАУЧНАЯ БИБЛИОТЕКА eLIBRARY.RU
Bielefeld Academic Search Engine (BASE) — BASE
OCLC WorldCat — OCLC WorldCat
NORMA CS — NORMACS СИСТЕМА НОРМАТИВОВ
Registry of Open Access Repositories (ROAR)

ISSN 2072-8735 (Print) ISSN 2072-8743 (Online)

Подписной индекс Агентства "Роспечать" — 80714

27-Я МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА "СВЯЗЬ-ЭКСПОКОММ-2015" И ПЕРВЫЙ БОЛЬШОЙ МЕДИА-КОММУНИКАЦИОННЫЙ ФОРУМ

С 12 по 15 мая 2015 года в ЦВК "Экспоцентр" прошла 27-я международная выставка "Связь-Экспокомм-2015", ставшая крупнейшим в России, СНГ и Восточной Европе событием в сфере телекоммуникаций, информационных технологий и услуг связи.

Выставка была организована Экспоцентром совместно с компанией "И. Джей. Краузе энд Ассоусиэйтс, Инк." при поддержке Министерства связи и массовых коммуникаций РФ, Министерства промышленности и торговли РФ и Федерального агентства связи (Россвязь), под патронатом Торгово-промышленной палаты России и Правительства Москвы.

Экспозиция выставки разместилась на площади 7 823 м^2. Её тематический охват включал телекоммуникационные технологии и сети; информационную инфраструктуру; услуги сервис-провайдеров и операторов связи; информационные системы, программные продукты и сервисы; системы информационной безопасности; пользовательские устройства; контент, медиа, развлечения.

В связи с новым форматом мероприятия – объединением выставки и Большого Медиа-Коммуникационного Форума, в этом году традиционно популярный проект "Связь-Экспокомм" привлек небывалое количество профессиональных посетителей, включая руководителей отраслевых компаний и предприятий. За 4 дня работы выставку посетили около 43000 специалистов отрасли.

На официальном открытии выставки "Связь-Экспокомм-2015" и Большого Медиа-Коммуникационного Форума, ставшего ключевым мероприятием деловой программы, Министр связи и массовых коммуникаций России Николай Никифоров отметил, что Россия занимает все более высокие позиции в мировых рейтингах. По его словам, это является результатом пристального внимания к развитию инфраструктуры связи в стране, что было бы невозможно без конструктивного диалога государства и представителей отрасли. Лидирующей площадкой для такого диалога министр назвал выставку "Связь-Экспокомм-2015" и Большой Медиа-Коммуникационный Форум.

В церемонии открытия также приняли участие заместитель председателя Государственной Думы РФ, председатель Оргкомитета выставки "Связь-Экспокомм-2015" Сергей Железняк, руководитель Федерального агентства связи Олег Духовницкий, заместитель председателя Комитета Совета Федерации РФ по конституционному законодательству и государственному строительству Людмила Бокова, статс-секретарь – заместитель председателя Банка России Александр Торшин, вице-президент ТПП РФ Александр Рыбаков, директор РАЭК Сергей Плуготаренко.

Во время своего выступления генеральный директор ЗАО "Экспоцентр" Сергей Беднов подчеркнул, что впервые в таком масштабе удалось соединить в рамках "Связь-Экспокомм-2015" деловую и выставочную часть. Объединение выставки и форума позволило создать новую конгрессно-выставочную площадку, которая, по мнению профессионального сообщества, призвана стать главным проектом российской отрасли связи и телекоммуникаций.

Участниками "Связь-Экспокомм-2015" стали 363 компании из 20 стран. С национальными экспозициями выступили компании Индии и Китая, коллективный стенд организовали представители Тайваня.

Официальным партнером "Связь-Экпокомм-2015" выступила компания SwitchRay – ведущий международный разработчик IP-решений для построения, развития и защиты сетей связи. Спонсором выставки стала компания FiberHome Technologies – лидер оптической связи Китая.

Свои новинки продемонстрировали известные зарубежные компании, такие как ABB, Rohde&Schwarz, Nec, Keysight Techologies, Exide, TP-Link, Fiberhome Technologies, Raisecom, Delta ElectronicsInc., Corning. Были и дебютанты смотра – Ilsintech, 3CX, Coats и др.

Но, прежде всего, "Связь-Экспокомм-2015" стала главной демонстрационной площадкой для российских разработчиков и производителей. Россию на выставке представляли 196 отечественных компаний и предприятий. В их числе – ОАО "Натекс", НПК "Микротек", ЗАО "Концепт Технологии", Группа Компаний "Информтехника", Международная Организация Космической Связи "Интерспутник", ОАО "Газпром Космические Системы". Среди новых участников – ОАО "Псковский завод автоматических телефонных станций", ООО "Фактор-ТС", ЗАО "Линтех", ЗАО "Будафон ЛТД", ООО "Изипласт", ООО "Стрела" и др.

Отдельным стендом на выставке был представлен инновационный центр "Сколково", экспозиция которого включала разработки и готовую продукцию 12-ти компаний, входящих в 3 кластера центра: космических технологий и телекоммуникаций, информационных технологий и ядерных технологий. И если в прошлом году большинство проектов находились в стадии ранних прототипов и их разработчики участвовали в выставке, чтобы понять запросы рынка и получить предварительные отзывы, то теперь многие участники показывают решения, готовые к внедрению.

Успехи и проблемы телекоммуникационной отрасли, ее новейшие достижения и разработки эксперты обсудили в ходе бизнес-мероприятий Первого Большого Медиа-Коммуникационного Форума, организованного Экспоцентром и Ассоциацией электронных коммуникаций (НП "РАЭК").

Одной из центральных тем Форума стало импортозамещение. Перспективы развития нормативных документов, определяющих меры поддержки отечественного программного обеспечения, обсуждались на круглом столе "Импортозамещение в софтверной сфере".

Параллельно прошла экспертная дискуссии на другом круглом столе, который был посвящен первым результатам импортозамещения в России в сфере телекоммуникаций, роли государства и бизнеса в этом процессе, а также вопросам национальной безопасности.

В рамках форума состоялась конференция, на которой обсуждалось будущее веб-индустрии. В ней приняли участие представители агентства AGIMA, Paper Planes Consulting Agency, "Российской газеты" и других компаний. Их выступления были посвящены самым актуальным тенденциям веб-дизайна, работе в удаленном доступе, онлайн-обучению, мировым интернет-технологиям.

Также была организована конференция, посвященная российским мобильным технологиям для бизнеса. Ее участники рассказали об успешных мобильных приложениях, рассмотрели проблемы взаимоотношений заказчика и разработчика мобильных технологий, рассказали, как можно зарабатывать на мобильном контенте.

Параллельно на форуме прошла сессия "Отечественный софт", на которой были представлены российские программные решения для коммуникационной отрасли, и сессия "Транспортные технологии для операторов связи".

Выступающие презентовали специалистам отрасли новые разработки отечественных компаний "Мивар", "Апрентис", Центра прикладных исследований компьютерных сетей и Группы компаний DZ Systems.

В рамках выставки состоялось расширенное совещание Федерального агентства связи по итогам 2014 г.под руководством Олега Духовницкого.

В совещании приняли участие Министр связи и массовых коммуникаций РФ Николай Никифоров, заместитель председателя Госдумы Сергей Железняк, начальник Управления Президента по применению информационных технологий и развитию электронной демократии Андрей Липов, другие официальные лица и ведущие эксперты.

Глава Россвязи, в частности, назвал одним из серьезнейших и значимых событий 2014 г. подписание и начало реализации десятилетнего договора с ОАО "Ростелеком" об уникальном по своим параметрам проекте по "устранению цифрового неравенства". Он подчеркнул, что к 2024 г. более 5 млн. россиян дополнительно получат возможность пользоваться высокоскоростным широкополосным доступом в Интернет и получать высококачественные сопутствующие услуги.

На совещании также обсуждались основные задачи на 2015 г. В приветственном послании к участникам совещания заместитель председателя Правительства РФ Аркадий Дворкович к таким задачам отнес принятие Россвязью "всех мер по реализации программы восполнения и развития российской государственной орбитальной спутниковой группировки связи и вещания гражданского назначения". Вице-премьер также отметил, что перед Федеральным агентством связи стоят обширные задачи "модернизации сетей электросвязи и проводной связи на территории Крымского федерального округа".

В рамках совещания состоялась панельная дискуссия по теме: "Стратегия эффективного управления и импортозамещения в новых экономических условиях в отрасли ИКТ". Эксперты обсудили факторы, влияющие на развитие отрасли информационно-коммуникационных технологий в современных условиях, стратегии и модели управления предприятиями и госимуществом, подготовку кадров и повышение квалификации в условиях экономической нестабильности, другие актуальные вопросы.

В ходе панельной дискуссии обсуждались перспективы развития датацентров. Был затронут вопрос конкурентоспособности отечественных разработок для ЦОД. По мнению производителей оборудования, российские ИТ-компании в настоящее время отдают предпочтение зарубежным технологиям, несмотря на то, что отечественные разработки по качеству, надежности и другим параметрам отвечают мировому уровню.

В рамках деловой программы 27-й международной выставки "Связь-Экспокомм-2015" Международная общественная академия связи (МАС) провела XIX Международный форум "Инфокоммуникации устойчивого развития".

Традиционно на Форуме обсуждались проблемы развития цифрового телевидения, сетей 5G, магистральных кабельных линий и сетей.

Комплекс вопросов, связанных с проблемами телеком-операторов, переходом к сетям нового поколения, обсуждался в ходе работы круглого стола "Создание цифровых коммуникаций в интересах устойчивого развития государства, общества, личности в мире и в Российской Федерации". Большое внимание было уделено импортозамещению. Темой обсуждения стала необходимость кардинального расширения поддержки отраслевой отечественной науки и отечественных разработок в условиях актуализации вопросов импортозамещение.

Следующая 28-я международная выставка "Связь-2016" пройдет с 26 по 29 апреля 2016 года в ЦВК "Экспоцентр"

НАВИГАЦИОННЫЙ РЫНОК – ПЕРЕЗАГРУЗКА. НОВЫЕ МАРШРУТЫ

Как будет развиваться рынок навигации в ближайшем будущем? Произойдет ли перезагрузка? Какие решения идут на замену? Эти и многие другие актуальные вопросы навигационной отрасли обсуждались ведущими экспертами в рамках IX Международного навигационного форума, который прошел 22-23 апреля в Москве, совместно с 7-й Международной выставкой "Навитех-2015".

В IX Международном навигационном форуме приняли участие около 1400 делегатов из 550 компаний из стран Евразийского Экономического Союза, Европейского Союза, БРИКС, включая такие страны, как: Австрия, Белоруссия, Великобритания, Германия, Индия, Италия, Казахстан, Китай, Литва, Нидерланды, Объединенные Арабские Эмираты, Соединенные Штаты Америки, Туркменистан, Франция. Среди зарегистрированных участников Форума – представители федеральных и региональных органов государственной власти Российской Федерации, представители органов власти стран СНГ, делегаты ведущих российских и зарубежных навигационных, информационных, автомобильных и других компаний, работающих в сфере навигации и смежных отраслях. Форум и Выставка традиционно являются центральными событиями навигационного года в России и странах СНГ.

В начале пленарного заседания прошла церемония награждения премией в области навигации, учрежденной Ассоциацией "ГЛОНАСС/ГНСС-Форум". В этом году в восьмой раз были отмечены заслуги людей, внесших неоценимый вклад в развитие навигационных технологий. В номинации "За вклад в создание и развитие системы ГЛОНАСС" награждены:

Лебедкин Г.Д. – профессор Академии проблем безопасности, обороны и правопорядка; Полищук Г.М. – заместитель генерального директора Холдинга "СТК "Союз"; Персев В.С. – начальник отдела научно-технического и информационного сопровождения программ развития средств КВНО ФГУП ЦНИИмаш; Ельцова О.Л. – внесла большой личный вклад в подготовку федеральной целевой программы "Глобальная навигационная система"; Ревнивых С.Г. и Климов В.Н. – авторы идеи создания первой целевой программы создания глобальной навигационной спутниковой системы ГЛОНАСС, принимали активное участие в ее подготовке и реализации. В номинации "За внедрение навигационных технологий" за многолетний добросовестный труд, большие заслуги в научной деятельности и реализации проектов по внедрению навигационных технологий с использованием системы ГЛОНАСС награждены: Ганин А.А. – первый заместитель генерального директора ФГУП "Космическая связь"; Лебедев М.Г. – советник генерального директора концерна ПВО "Алмаз-Антей"; Шепотько И.С. – ведущий консультант ПАО "НИС".

В рамках пленарного заседания навигационного форума помощник Президента Российской Федерации Левитин И.Е. отметил: "За прошлый год количество навигационных приборов в мире превысило 3,5 млрд., из них 60% используют сигналы российской системы ГЛОНАСС. Это наглядное свидетельство престижа отечественного проекта, подтверждение высокого технологического уровня".

Министр транспорта РФ Соколов М.Ю. отметил, что навигационные технологии прочно вошли в нашу повседневную жизнь. ГЛОНАСС технологии активно используются в государственной сфере, в работе всего транспортного комплекса, всех его отраслей. Системы диспетчеризации и мониторинга, логистики, обеспечения безопасности, интеллектуальные транспортные системы, тахографический контроль работают с применением спутниковой навигации. И это закономерно. По оценкам специалистов, потенциальный экономический эффект, достигнутый от использования навигационных технологий, может составить более половины процента от внутреннего валового продукта страны.

По словам Максима Соколова, главным событием прошедшего года стало решение о вводе в промышленную эксплуатацию с 1 января 2015 г. государственной системы "ЭРА-ГЛОНАСС". Россия не на шаг, а на несколько шагов опередили создание и применение аналогичных систем и в Европе, и в Америке, и в Китае и других странах мира. Создание системы "ЭРА-ГЛОНАСС" является полномасштабным проектом в сфере навигационной деятельности, обеспечения транспортной безопасности и безопасности на транспорте, которая, в первую, очередь направлена на спасение человеческих жизней.

Заместитель Руководителя Федерального Космического Агентства Хайлов М.Н. рассказал о состоянии и перспективах системы ГЛОНАСС.

"Благодаря усилиям федеральных органов и промышленности, мы вышли на полноценную группировку (24 аппарата, используемых по целевому назначению, обеспечивающие предоставление навигационного сигнала ста процентам территории Земного шара), вышли на точность, соизмеримую с

системой GPS (2,8 м) и начали летные испытания космического аппарата нового поколения "ГЛОНАСС-К" - констатировал современное состояние группировки Хайлов. Дальнейшие задачи Федерального космического агентства заключаются в поддержании и развитии имеющейся группировки, а именно: развитие орбитального сегмента, развитие наземного сегмента и развитие международного сотрудничества в целях продвижения системы ГЛОНАСС.

"За девять лет навигационный форум прошел большой путь: получил статус международного, стал центральным событием навигационной отрасли на пространстве СНГ. Вслед за развитием навигационных технологий ГЛОНАСС изменилась и тематика форума. Сегодня в центре внимания – эффективное использование возможностей навигационных, информационных и коммуникационных технологий на транспорте, в различных отраслях экономики, в интересах всех категорий потребителей", – сказал Александр Гурко, Президент Некоммерческого партнерства "ГЛОНАСС". – "Партнерство из года в год выступает стратегическим партнером Форума и демонстрирует ключевые тенденции рынка в рамках выставки "Навитех". Важнейшее навигационное событие прошедшего года в России – это, безусловно, ввод в эксплуатацию государственной системы "ЭРА-ГЛОНАСС", в основе работы которой - применение технологий ГЛОНАСС. Следующий шаг – использование возможностей "ЭРА-ГЛОНАСС" в интересах российских автомобилистов, федеральных, ведомственных и региональных систем, бизнеса. Именно это станет главным драйвером развития технологий ГЛОНАСС и российского навигационного рынка".

Объем мирового навигационного рынка в 2014 г. составил 65 млн. евро, к 2020 г. эта цифра возрастет практически вдвое – до 100 млрд. евро. На данный момент количество навигационного оборудования в мире уже превысило 3, 5 млрд. устройств, из которых 2, 5 млрд. это смартфоны.

По оценкам аналитиков НП "ГЛОНАСС", основными драйверами мирового развития навигационной отрасли в ближайшие 3-5 лет станет капитализация посредством коммерческих сервисов (информационных, безопасности, платежных, страховых, технической поддержки) возможностей "подключенного (к интернету) автомобиля" (Connected Car); развитие технологий V2X – информационного обмена "автомобиль – автомобиль" V2V, "автомобиль – инфраструктура V2I", "автомобиль – человек" V2P; развитие навигационных технологий в интересах транспортных средств (робомобили, БПЛА) и роботов; технологии единой навигации для потребителя: спутниковой, инерциальной, indoor навигации; технологий навигации повышенной точности и гарантированной надежности.

Дополнительными драйверами для технологий ГЛОНАСС на ближайшие годы, по мнению экспертов, станет оснащение транспорта приборами контроля режима труда и отдыха водителей (тахографами), создание системы возмещения ущерба федеральным дорогам большегрузным транспортом (12-тонники) и экспорт ГЛОНАСС решений в страны Евразийского Экономического Союза, ШОС и БРИКС.

Говоря о развитии системы ГЛОНАСС, нужно заметить, что система обновления карт также усовершенствуется. В рамках круглого стола "Безопасность и навигация: дальше только вместе" с докладом на тему: "Совершенствование системы обеспечения данными ГЛОНАСС государственного топографического мониторинга в интересах формирования ГИС – "Арктика"", выступил Ефимов С.А., Директор научно-технического комплекса, ОАО "НИиП центр "Природа". Он говорил об использовании топографической основы при обновлении карт и новом подходе к определению время обновления той или иной местности. Сергей Анатольевич отметил, что топографический мониторинг состоит из обзорного мониторинга (определение территорий нуждающихся в обновлении по космической съемке) и детального мониторинга (выявление изменений местности). Завершается процесс мониторинга созданием опытного образца. Применение ГЛОНАСС происходит, как на этапе детального мониторинга, так и на этапе полевого дообследования территорий, а также в процессе беспилотной съемки. Крайне важно, что вся информация хранится в базах данных, и есть возможность прослеживать изменения на протяжении многих лет.

В рамках Форума российские разработчики акцентировали внимание на тенденции к объединению, комплексированию различных технологий в рамках создания навигационно-информационных систем.

По мнению директора по маркетингу SpaceTeam® Светланы Хадоновой, классические системы мониторинга транспорта постепенно отходят на второй план. Заказчиков интересуют комплексные решения, которые позволили бы решать широкий комплекс задач конкретного предприятия: это и обеспечение безопасности перевозок, и обеспечение информационной безопасности, и контроль работы транспорта в режиме реального времени с учетом множества различных параметров, и помощь в планировании работы, и повышение эффективности работы, и экономия на содержании автопарка и мн. др.

Развитие навигационных сервисов в интересах массовых потребителей четко прослеживается в сфере позиционирования внутри зданий (indoor-навигации). На круглом столе: "Индор-навигация: потребители в ожидании простых и эффективных решений" Florian Freitag, Руководитель проекта indoo.rs рассказал о реальных кейсах разработанных его компанией, это использование приложений в торговых центрах, аэропортах, офисах и других помещениях для навигации в помещении. Florian сказал, что их проекты нацелены на клиента и могут удовлетворять множество потребностей, таких как сбор аналитики, позиционирование и другие. Технология работает на wi-fi, ip-радиосигналах в сочетании с инновационными сенсорами в самих смартфонах, гироскопами всем вместе взятым. Спикер придал особое значение пользе подобных приложений для инвалидов, слепых людей, а также для служб безопасности. Подводя итог выступления, Florian выделил сферы, наиболее активно интересующиеся подобными приложениями: это авиация и розничная торговля.

www.glonass-forum.ru

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ПРОЕКТИРОВАНИЯ ШИРОКОПОЛОСНЫХ БЕСПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ ВДОЛЬ ПРОТЯЖЕННЫХ ТРАНСПОРТНЫХ МАГИСТРАЛЕЙ

Вишневский Владимир Миронович,
профессор, д.т.н., зав. лаб. 69, ИПУ РАН, Москва, Россия,
vishn@inbox.ru

Кришнамурти Ачьюта,
профессор, д.т.н., профессор департамента математики Университета науки и технологий г. Кочин, Индия,
achyuthacusat@gmail.com

Козырев Дмитрий Владимирович,
к.ф.-м.н., с.н.с. ИПУ РАН, Москва, Россия,
kozyrevdv@gmail.com

Ларионов Андрей Алексеевич,
н.с. ИПУ РАН, Москва, Россия, ***larioandr@gmail.com***

Иванов Роман Евгеньевич,
инженер-программист ИПУ РАН, Москва, Россия,
iromcorp@gmail.com

Ключевые слова: *широкополосные беспроводные сети, протяженные транспортные магистрали, базовые станции, протоколы беспроводной связи, аналитическое и машинное моделирование, интерференция.*

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ в рамках проведения прикладных научных исследований № 14.613.21.0020 от 22.10.2014

Создание современной инфраструктуры передачи мультимедийной информации (голос, данные, видео) вдоль протяженных магистралей является одной из важнейших проблем при создании новых и функционировании существующих транспортных магистралей. Особенно актуально решение этой проблемы для стран с обширной территорией, к числу которых относится Российская Федерация. Создание такой инфраструктуры связи позволяет: обеспечивать оперативный контроль за техническими параметрами трассы путем высокоскоростной передачи информации с датчиков и сенсоров в центр управления; обеспечение контроля безопасности за участками трассы и стратегически важными объектами с использованием информации систем видеонаблюдения; обеспечение голосовой связи (IP-телефония) и передачи мультимедийной информации между стационарными и мобильными объектами на протяженных магистралях, а также связь с Центром управления и т.д.

Приведен обзор работ, опубликованных в последние годы в ведущих отечественных и зарубежных изданиях, по проектированию широкополосных беспроводных сетей вдоль протяженных транспортных магистралей. Дано описание технологии построения беспроводных сетей этого класса на базе протоколов IEEE 802.11n,s, IEEE 802.16 и UMTS (LTE). Рассмотрены методы и алгоритмы оптимального расположения базовых станций вдоль транспортных магистралей, максимизирующие области покрытия трассы при ограничениях на суммарную стоимость и на время задержки передачи пакетов данных. Приведен обзор статей по моделям теории очередей, теории игр и имитационного моделирования, используемых для оценки и оптимизации производительности дорожных сетей. В заключительной части статьи рассмотрены методы борьбы с интерференцией и решения проблемы "скрытых станций", направленные на повышение качества функционирования беспроводных сетей вдоль протяженных транспортных магистралей. В целом, приведенный в статье обзор, является полезным инструментом для специалистов в области связи для ориентации в многочисленных (в основном, зарубежных) работах по оценке производительности и проектированию широкополосных беспроводных сетей, опубликованных в последние годы.

Для цитирования:
Вишневский В.М., Кришнамурти А., Козырев Д.В., Ларионов А.А., Иванов Р.Е. Методы исследования и проектирования широкополосных беспроводных сетей вдоль протяженных транспортных магистралей // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2015. – Том 9. – №5. – С. 9-15.

For citation:
Vishnevsky V.M., Krishnamoorthy A., Kozyrev D.V., Larionov A.A., Ivanov R.E. Methods for research and building up the broadband wireless Communication networks along the long transport routes. T-Comm. 2015. Vol 9. No.5, pp. 9-15. (*in Russian*).

1. Введение

Создание современной инфраструктуры передачи мультимедийной информации (голос, данные, видео) вдоль протяженных магистралей является одной из важнейших проблем при создании новых и функционировании существующих транспортных магистралей. Особенно актуально решение этой проблемы для стран с обширной территорией, к числу которых относится Российская Федерация. Создание такой инфраструктуры связи позволяет: обеспечивать оперативный контроль за техническими параметрами трассы путем высокоскоростной передачи информации с датчиков и сенсоров в центр управления; обеспечение контроля безопасности за участками трассы и стратегически важными объектами с использованием информации систем видеонаблюдения; обеспечение голосовой связи (IP-телефония) и передачи мультимедийной информации между стационарными и мобильными объектами на протяженных магистралях, а также связь с Центром управления и т.д.

Учитывая высокие требования к безопасности, использование сетей общего пользования (типа Интернет) в системах связи этого класса обычно не допускается, тем более, что протяженные магистрали часто проходят по малонаселенным, труднодоступным территориям, где доступ к сети Интернет или сотовой связи отсутствует [1, 2]. Создание выделенных оптоволоконных сетей вдоль протяженных магистралей или радиорелейных линий требует огромных материальных затрат. То же касается и использования спутниковых каналов и сетей связи. В то же время стоимость широкополосной высокоскоростной беспроводной связи на аппаратно-программных средствах, реализующих международный стандарт IEEE 802.11-2012 [3], на порядок ниже. Указанный стандарт регламентирует создание высокоскоростных каналов связи и беспроводных сетей, функционирующих под управлением протоколов IEEE 802.11n и IEEE 802.11s, на базе которых могут эффективно реализовываться беспроводные сети вдоль протяженных транспортных магистралей. Указанные сети обеспечивают создание не только магистральной скоростной передачи мультимедийной информации путем расположения базовых станций на высотных зданиях и вышках вдоль транспортных магистралей, но и оперативную связь со стационарными и мобильными абонентами (автомобили, поезда, дорожные знаки, пункты весового контроля и пункты контроля ПДД, управления светофорами и т.д.).

Широкополосные беспроводные сети и каналы связи стали в настоящее время одним из основных направлений развития телекоммуникационной индустрии. Этот факт нашел отражение в многочисленных зарубежных монографиях, статьях в специализированных журналах: IEEE Wireless Communications Magazine, IEEE Communications; IEEE Wireless Network; IEEE Transactions on Vehicular Technology и трудах конференций (IEEE GLOBECOM, IEEE INFOCOM, ICUMT, NetWare, DCCN и многих других), где исследовались архитектура, методы оценки и оптимизации параметров протоколов, математические модели расчета производительности и надежности беспроводных сетей и каналов связи и т.д. Исследованию широкополосной связи посвящены и монографии отечественных авторов, например [1, 2] и отдельные статьи в журналах: Автоматика и телемеханика, Радиоэлектроника, Телекоммуникации и транспорт, Проблемы информатики, Электроника, Беспроводные технологии и т.д.

В настоящей работе дан обзор научно-технической литературы, опубликованной в последние годы по теории и практике создания беспроводных сетей вдоль протяженных транспортных магистралей. Указанные публикации могут быть классифицированы по следующим направлениям: методы и алгоритмы оптимального размещения базовых станций; методы обеспечения качества обслуживания, минимизации задержек и оптимизации пропускной способности; технологии связи, используемые в опорных беспроводных транспортных сетях, а также между дорожными базовыми станциями и транспортными средствами; методы борьбы с интерференцией и коллизиями, дизайн антенных систем; связь с интеллектуальными транспортными системами.

2. Оптимальное расположение базовых станций вдоль протяженных транспортных магистралей

Развертывание и развитие сетей беспроводной связи вдоль протяженных магистралей требует решения ряда сложных организационно-технических задач в условиях жестких ограничений на использование частотных, экономических и аппаратных ресурсов. В связи с этим возрастает актуальность решения проблемы оптимального размещения базовых станций вдоль транспортных магистралей, которая является одной из важнейших при проектировании широкополосных беспроводных сетей этого класса. Ее решение направлено как на реализацию высокоскоростной магистральной сети, так и максимальное телекоммуникационное покрытие трассы с целью обеспечения подключения мобильных пользователей, а также минимизации интерференции и временных задержек при передаче мультимедийной информации по сети.

Исследованию этой проблемы посвящены многочисленные отечественные и зарубежные публикации [4-11]. В частности, в [4] решена задача размещения базовых станций беспроводной сети по критерию максимального покрытия протяженной трассы при ограничениях на суммарную стоимость сети. Исходными данными для решения задачи являются потенциальные места установки базовых станций, а также предварительно собранная статистика трафика от стационарных и мобильных абонентов. Близкая по постановке задача размещения базовых станций, максимизирующая зону покрытия, приведена в [5]. Для аналитического описания задачи используется модель максимального покрытия с ограничением на время задержки, для исследования которой предложен генетический алгоритм.

Стратегии размещения базовых станций, учитывающие параметры дорожного трафика и направленные на улучшение качества связи в автомобильных ad-hoc сетях, рассмотрены в работе [6]. Для нахождения оптимальных зон покрытия каждой станции авторами предложен алгоритм расширения и раскраски. Проблема отыскания оптимальной стратегии сформулирована как комбинаторная оптимизационная задача максимизации вероятности связности путем

поиска оптимального расположения базовых станций. В качестве примера проведен расчет на большом участке городской дорожной сети. Приводятся также результаты имитационного моделирования, показывающие, что схема расположения базовых станций, полученная при помощи описанной в статье стратегии, позволяет получить лучшую связность сети по сравнению с предложенными ранее методами.

Проблема размещения дорожных базовых станций в рамках сетей стандарта IEEE 802.11p/WAVE изучается в работе [7]. Представлена аналитическая модель, позволяющая анализировать задержку передачи данных в сетях на автомагистралях. Исследованы случаи связанных и несвязанных базовых станций. Показано, что эффективными оказываются лишь те стратегии размещения, в которых дорожные базовые станции связаны друг с другом в пределах прямой видимости. В работе [8] описывается анализатор, позволяющий оценивать длительность периодов наличия и отсутствия соединений движущихся транспортных средств с дорожной базовой станцией, основываясь на предварительно собранных телематических данных, а также на топологии опорной дорожной сети. Предложен корректный выбор схемы расположения базовых станций, позволяющий значительно увеличить зону покрытия сети.

Результаты расчетов и моделирования схемы расположения базовых станций вдоль дорог в городе Чеджу (Южная Корея) приводятся в статье [9]. Рассчитанная оптимальная топология опорной беспроводной сети обеспечила повышение надежности соединений и сокращение интервалов времени, в течение которых транспортные средства остаются без связи.

В статье [10] рассмотрена задача оптимального расположения станций, предназначенных для рассылки информационных сообщений движущимся по городским дорогам транспортным средствам. Предложена схема выбора расположения станций, не использующая сведений о собранных точных маршрутах движения транспортных средств. Проблема размещения базовых станций в сети транспортных средств, расположенных на автострадах или иных дорогах, содержащих большое количество полос со съездами или пересечениями на протяжении дороги, изучается в статье [11].

В данной модели каждое транспортное средство может иметь связь с базовой станцией двумя способами: доставка информации напрямую, если транспортное средство оказывается в области прямой видимости с базовой станцией; многошаговая передача, происходящая в случае, если транспортное средство покидает пределы прямой видимости. В предлагаемой стратегии рассчитываются оба способа доступа и формулируется проблема размещения с использованием модели целочисленного линейного программирования таким образом, чтобы общая пропускная способность сети была максимальной. При формулировке задачи учитывается влияние интерференции, распределение потоков транспортных средств и их скорость. С использованием системы моделирования NS-2 проведена оценка основных характеристик беспроводной сети при применении предложенной стратегии.

3. Технологии построения беспроводной сети передачи мультимедийной информации вдоль протяженных транспортных магистралей

При проектировании беспроводной связи стандарта IEEE 802.11-2012 могут быть реализованы следующие топологические схемы организации сети: централизованная схема, функционирующая под управлением протокола IEEE 802.11g/n, и децентрализованная схема ячеистой сети (mesh-сети) под управлением протокола IEEE 802.11s. В первом случае сеть состоит из совокупности двух типов каналов связи - участки магистральных каналов связи для доставки контента непосредственно в Центр управления и клиентские каналы для мобильных и стационарных абонентов сети. Во втором случае сеть имеет ячеистую топологию (Mesh Topology), в которой каждая точка доступа не только предоставляет услуги абонентского доступа, но и выполняет функции маршрутизатора/ретранслятора для других точек доступа той же сети.

Технологиям связи, используемым между базовыми станциями, расположенными вдоль транспортных магистралей, а также связи между базовыми станциями и мобильными транспортными средствами уделяется большое внимание в мировой литературе. В частности, использование технологии беспроводных mesh-сетей для построения опорных сетей вдоль автомобильных дорог рассматривается в [12-14], использование протоколов семейства IEEE802.11n [15-19]; построение систем связи, объединяющих различные технологии, такие, как WiMAX и WiFi в [20-23].

Сети транспортных средств, в которых в качестве магистральной системы связи используется mesh-сети стандарта IEEE 802.11s, рассматриваются в статье [12]. Маршрутизаторы mesh-сети играют роль точек доступа для автомобилей и обеспечивают интернет-соединение посредством многошаговой коммуникации для клиентов. Отмечено, что механизм доступа MCCA, являющийся стандартным для IEEE 802.11s, для автомобильных сетей требует коррекции. Предлагается модифицированный механизм доступа, основанный на MCCA, но обеспечивающий справедливый доступ пропорционально нагрузке. Данный механизм использует распределенную схему, рассчитывающую интенсивность трафика в точке доступа, и, в зависимости от нагрузки трафика, настраивает MCCA в соответствии с требованиями точки доступа. Эффективность предложенной схемы подтверждается при помощи аналитического и имитационного моделирования. В работе [13] рассматривается mesh-сеть, развернутая на транспортных магистралях в городском жилом районе. Аналитические результаты на базе модели открытой сети массового обслуживания показывают, как производительность mesh-сети масштабируется с ростом числа маршрутизаторов и клиентов. Mesh-сетям с древовидной топологией, обеспечивающей низкую задержку и высокую пропускную способность передачи данных вдоль дорог, посвящена работа [14]. По мнению авторов, линейная топология, описанная в ранних работах, предполагаемая, в частности, для организации связи вдоль железных дорог, обладает рядом недостатков. Она приводит к образованию большого количества шагов при ретрансляции информации, высокой сквозной задержке

и обладает низкой надежностью. Для борьбы с этими недостатками предлагается использовать mesh-сеть, топология которой имеет древовидную структуру. Обсуждается архитектура, выбор антенн, развертывание и результаты тестирования производительности системы, включающей 14 узлов.

В работе [15] описана методология проектирования беспроводных сетей вдоль протяженных магистралей на базе IEEE 802.11n, позволяющая осуществлять реализацию сетей подвижной и фиксированной связи с учетом структуры местности, электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств и распределения абонентской нагрузки при оптимизации частотных и аппаратных ресурсов. Приводятся результаты проектирования и трехлетней эксплуатации широкополосной беспроводной сети передачи мультимедийной информации вдоль окружной дороги г. Казань (М7 Волга). Связь между машинами и дорожными базовыми станциями, реализуемая через сети, доступ к каналу в которых основан на IEEE 802.11 DCF MAC, рассматривается в работах [16, 19]. Предлагается схема кооперативной передачи данных через удаленные базовые станции, позволяющая повысить эффективность соединений за счет использования специальных прокси-серверов и сокращения интерференции, возникающей из-за пересылок данных между машинами. В статье [17] дано описание использования связи по стандарту IEEE 802.11p/WAVE между транспортными средствами и дорожными базовыми станциями, количество которых предполагается небольшим из-за высокой стоимости. Для увеличения длительности соединений между машинами и базовыми станциями предлагается осуществлять рассылку информации о базовых станциях для двигающихся по магистралям автомобилей. Разработка методов повышения эффективности работы базовых станций вдоль автодорог путем рассылки сообщений инициализации от базовых станций, является целью статьи [18]. Изучаются многоканальные свойства новых стандартов IEEE 802.11p/IEEE 1609.4 для беспроводного доступа в сетях транспортных средств. Предложенные методы учитывают время, расстояние и типы каналов связи для увеличения эффективности и надежности связи между транспортными средствами и базовыми станциями в условиях городской местности, где препятствия к распространению сигнала из-за зданий или автомобильных пробок могут помешать удачной пересылке сообщений. Авторы приводят результаты имитационного моделирования, позволившего получить оценки эффективности и результативности предложенных решений для различных значений плотности размещения базовых станций и степени информационного покрытия дорожной сети.

Недостаткам фиксированных сетей для организации связи с подвижными высокоскоростными абонентами посвящена работа [20]. Авторы предлагают многоуровневую архитектуру сети, объединяющую беспроводные сети WiFi, WiMAX. Предлагается также использовать специальные прокси-сервера для повышения надежности передачи данных, и улучшения параметров качества обслуживания. Приводится описание распределенной сети прокси-серверов, алгоритмов их работы и разработанных протоколов маршрутизации. Приводятся также результаты имитационного моделирования, выполненного в системе OPNET. В статье [21] рассмотрена система связи между машинами и дорожными базовыми станциями, основанная на стандартах IEEE 802.11b/g. Система состоит из двух уровней. На нижнем уровне осуществляется беспроводное соединение, на верхнем - проксирование и управление различными беспроводными соединениями. Предполагается, что система сможет осуществлять роуминг между различными сетями, включая GSM, UMTS, HSDPA и сетями WiFi.

Адаптивная беспроводная система связи, в которой используются соединения WiFi и WiMAX для организации связи между машинами и дорожными базовыми станциями, рассматривается в работе [22]. Транспортное средство может осуществлять роль шлюза, через который остальные клиенты передают данные базовой станции по протоколам WiMAX, или роль обычного клиента. Связь между клиентами и шлюзами осуществляется через соединения WiFi. Авторами была предложена распределенная система принятия решений, позволяющая станциям динамически выбирать роли. Для моделирования этой системы использовался аппарат теории игр. Авторы еще одной статьи [23] представляют детальное описание архитектуры и демонстрируют систему, реализующую объединение протоколов WiMAX и DSRC для обеспечения доступа к сети Internet водителям и пассажирам транспортных средств на автомагистралях. Определяются следующие объекты сети транспортных средств: транспортные средства-абоненты (SS), транспортные средства-ретрансляторы (RS), базовые станции WiMAX (BS) и шлюзы доступа к Internet (IAG). Результаты имитационного моделирования показывают, что предложенная система значительно увеличивает общую производительность системы по сравнению с традиционными системами на базе протоколов WiMAX.

4. Методы аналитического и имитационного моделирования широкополосных беспроводных сетей вдоль протяженных транспортных магистралей

Для анализа производительности систем связи на протяженных магистралях и оценки качества принятых проектных решений используются различные методы аналитического (математического) и имитационного (машинного) моделирования. При оценке производительности задержек трансляции информационных пакетов и других параметров, характеризующих эффективность работы систем связи широко используются методы теории очередей и теоретико-вероятностные методы [13, 24-28]. При решении задач оптимизации, анализе механизмов доступа мобильных пользователей к сети и планирования инфраструктуры часто используются методы линейного программирования и теории игр [11, 22]. Наконец, для получения максимально приближенной к реальности оценки работы систем связи с учетом практических ограничений моделирования [20, 29, 30].

В работах [24, 25] для оценки производительности и проектирования широкополосных беспроводных сетей вдоль протяженных транспортных магистралей исследовалась модель многофазной стохастической системы с кросс-трафиком от мобильных абонентов. Предполагалось, что входящий поток пакетов и кросс-трафик описываются Пу-

ассоновским распределением. Более сложные модели многофазных систем массового обслуживания с использованием Markovian Arrival Process (MAP-процесс) разработаны в статьях [26, 27]. Использование модели MAP значительно усложняет математический аппарат анализа и синтеза беспроводных сетей, но позволяет адекватно учитывать коррелированный, нестационарный характер информационных процессов в современных телекоммуникационных сетях.

Другие подходы использования моделей теории массового обслуживания для анализа характеристик беспроводных дорожных сетей представлены в [27, 28]. В частности, в [28] оценивается вероятность блокировки сообщений от новых абонентов, движущихся в плотном автомобильном потоке и пересекающем границы соседних ячеек сотовой сети. Для расчета вероятности блокировки использована модель системы массового обслуживания M/D/C/C с интенсивностью пуассоновского входного потока, зависящей от времени. Предложен эффективный рекуррентный вычислительный алгоритм отыскания вероятностей блокировки.

По сравнению с аналитическими моделями имитационное моделирование беспроводных дорожных сетей позволяет учитывать как особенности физического уровня (кодирование, модуляцию и т.д.), так и сетевые характеристики (топология, тип сетевого трафика). По сравнению с дорогостоящими натурными экспериментами имитационное моделирование обеспечивает значительное сокращение временных издержек при оценке принятых проектных решений. В работе [29, 20] для построения имитационной модели беспроводной дорожной сети использованы популярные системы моделирования NS-3 и OPNET; пример использования системы моделирования QualNet приведен в работе [30].

5. Методы борьбы с интерференцией и дизайн антенных систем при проектировании широкополосных беспроводных дорожных сетей

Одной из ключевых проблем, возникающих при построении беспроводных сетей на протяженных магистралях, является интерференция, и возникающие из-за нее коллизии, ведущие к потере пакетов и понижению пропускной способности сети. Проблеме борьбы с интерференцией и коллизиями, а также построению эффективных антенных систем, посвящены работы [12,31-35]. В статье [31] представлены результаты исследования влияния расположения и типов антенн на производительность линий связи между движущимися абонентами в дорожных беспроводных сетях. В эксперименте задействованы антенны, закрепляемые на крышах автомобилей или внутри салона, работающие в диапазоне 5 ГГц по стандарту IEEE 802.11. Авторам удалось установить зависимость между производительностью линий связи и расположением антенн, а также показать, что схема разнесенного приема с автовыбором уровня пакетов улучшает производительность не только в каналах с замиранием, но и в каналах прямой видимости, за счет влияния геометрии транспортного средства на распространение радиосигнала. Делается вывод о том, что за счет правильного расположения и разнесения антенных систем можно бороться с интерференцией и проблемой скрытых станций. Исследование применения адаптивной антенны с электронно-управляемым излучателем (ESPAR) для обеспечения сервисов интеллектуальной транспортной системы приводится в работе [32] для случая, когда точки доступа расположены вдоль автомагистралей. Рассматривается связь между автомобилями и дорожными базовыми станциями. Моделирование показало, что система ESPAR может значительно улучшить пропускную способность линии связи. В работе [33] решена задача организации связи между машинами через базовые станции, играющие роль ретрансляторов. Эффективность таких линий связи снижается из-за проблемы скрытых станций. Для борьбы с этой проблемой предлагается использовать на базовой станции секторные антенны, снизив тем самым количество возникающих коллизий. Авторы приводят результаты моделирования, показывающее значительное увеличение доли доставленных сообщений.

Авторы статьи [34] предлагают инновационную надежную схему передачи пакетов с малым количеством коллизий для ad-hoc сетей транспортных средств, основанную на вероятностной ретрансляции. Предложенная схема, получившая название CAREFOR, предполагает распределенную связь объектов сети – каждое транспортное средство, получающее пакет данных, ретранслирует его с заданной вероятностью. Эта вероятность определяется исходя из различных физических факторов, определяемых автомобильной средой, включая плотность автомобильного потока в зоне действия сигнала, расстояние между передающим и принимающим транспортными средствами и, наконец, дальность передачи сигнала на следующем шаге. Все эти факторы определяют вероятность, которая позволяет каждому транспортному средству оценить, есть ли другое транспортное средство, которое должно получить это сообщение, и может ли быть выполнена ретрансляция сообщения. Схема CAREFOR отличается от других существующих методик, поскольку она учитывает эффект от передачи на следующем шаге при принятии решения о ретрансляции. Результаты имитационного моделирования показывают эффективность предложенного подхода по сравнению с существующими. Схема также учитывает двух- и трехшаговые ретрансляции сообщений. Авторы другой статьи [35] представляют новый кроссуровневый метод устранения коллизий кадров физического и MAC-уровней, позволяющий корректировать сообщения в беспроводных сетях малого радиуса действия. Представлены аналитические выражения, описывающие механизм устранения коллизий и описаны компоненты, необходимые для его применения. Результаты имитационного моделирования показывают, что при использовании такого механизма доставки, особенно в условиях высокой пользовательской нагрузки, надежность получения сообщений возрастает.

Заключение

В статье приведен обзор работ, опубликованных в последние годы в ведущих отечественных и зарубежных изданиях, по проектированию широкополосных беспроводных сетей вдоль протяженных транспортных магистралей. Дано описание технологии построения беспроводных сетей этого класса на базе протоколов IEEE 802.11n,s, IEEE 802.16 и UMTS (LTE). Рассмотрены методы и алгоритмы оптимального расположения базовых станций вдоль транспортных ма-

гистралей, максимизирующие области покрытия трассы при ограничениях на суммарную стоимость и на время задержки передачи пакетов данных. Приведен обзор статей по моделям теории очередей, теории игр и имитационного моделирования, используемых для оценки и оптимизации производительности дорожных сетей. В заключительной части статьи рассмотрены методы борьбы с интерференцией и решения проблемы "скрытых станций", направленные на повышение качества функционирования беспроводных сетей вдоль протяженных транспортных магистралей.

В целом, приведенный в статье обзор, является полезным инструментом для специалистов в области связи для ориентации в многочисленных (в основном, зарубежных) работах по оценке производительности и проектированию широкополосных беспроводных сетей, опубликованных в последние годы.

Литература

1. *Vishnevsky V.M., Portnoi S.L., Shakhnovich I.V.* WiMAX Encyclopaedia. Way to 4G. Tekhnosfera, Moscow, 2010. 470 p. (*in Russian*).

2. *Vishnevsky V.M., Semenova O.V.* Polling Systems: Theory and Applications for Broadband Wireless Networks. London: Academic Publishing, 2012. 317p.

3. 802.11-2012 IEEE Standard for Information technology. Telecommunications and information exchange between Local and metropolitan area networks. Specific requirements Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications. – IEEE Std., March 2012.

4. *Brahim M.B., Drira W., Filali F.* Roadside units placement within city-scaled area in vehicular ad-hoc networks / 3rd International Conference on Connected Vehicles & Expo (ICCVE 2014), 3-7 Nov 2014, Vienna, Austria, 2014.

5. *Cavalcante E.S., Aquino A.L.L., Pappa G.L., Loureiro A.A.F.* Roadside unit deployment for information dissemination in a VANET: an evolutionary approach / 14th Annual Conference Companion on Genetic and Evolutionary Computation (GECCO '12), 2012, NY, USA, 2012. Pp. 27-34.

6. *Liu H., Ding S., Yang L., Yang T.* A Connectivity-based Strategy for Roadside Units Placement in Vehicular Ad Hoc Networks / IEEE International Journal of Hybrid Information Technology, vol. 7, issue 1, 2014. Pp. 91.

7. *Reis A.B., Sargento S., Neves F., Tonguz O.K.* Deploying Roadside Units in Sparse Vehicular Networks: What Really Works and What Does Not / IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 63, issue 6, 2014. Pp. 2794-2806.

8. *Lee J.* Design of a Network Coverage Analyzer for Roadside-to-Vehicle Telematics Networks / Ninth ACIS International Conference on Software Engineering, Artificial Intelligence, Networking, and Parallel/Distributed Computing, 2008 (SNPD '08), 6-8 Aug 2008, Phuket, 2008. Pp. 201-205.

9. *Lee J., Kim C.M.* A Roadside Unit Placement Scheme for Vehicular Telematics Networks / Springer Lecture Notes in Computer Science, vol. 6059, 2010. Pp. 196-202.

10. *Xie B., Xia G., Chen Y., Xu M.* Roadside Infrastructure Placement for Information Dissemination in Urban ITS Based on a Probabilistic Model / Springer Lecture Notes in Computer Science, vol. 8147, 2013. Pp. 322-331.

11. *Wu T.-J., Liao W., Chang C.-J.* A Cost-Effective Strategy for Road-Side Unit Placement in Vehicular Networks / IEEE Transactions on Communications, vol. 60, issue 8, 2012. Pp. 2295-2303.

12. *Bisnik N., Abouzeid A.* Delay and Throughput in Random Access Wireless Mesh Networks / IEEE International Conference on Communications (ICC '06), Istanbul, 2006. Pp. 403-408.

13. *Chakraborty S., Nandi S.* IEEE 802.11s Mesh Backbone for Vehicular Communication: Fairness and Throughput / IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 62, issue 5, 2013. Pp. 2193-2203.

14. *Karunagaran S., Sundararajan S., Poroor J., Dhar A.* Mesh-Tree Topology For Vehicular Networks / International Conference on Testbeds and Research Infrastructures for the Development of Networks & Communities and Workshops, 6-8 Apr 2009, Washington, DC, 2009.

15. *Vishnevsky V.M., Minnikhanov R.N., Dudin A.N., Klimenok V.I., Larionov A.A., Semenova O.V.* New generation of hardware-software for road safety systems and its application in intellectual transport systems / Informacionnye tehnologii i vychislitel'nye sistemy, № 4, 2013. Pp.17-26. (*in Russian*).

16. *Wu Q., Zheng J.* Performance modeling and analysis of IEEE 802.11 DCF based fair channel access for vehicle-to-roadside communication in a non-saturated state / Springer Wireless Networks, Volume 21, Issue 1, 2014. Pp. 1-11.

17. *Campolo C., Molinaro A.* On vehicle-to-roadside communications in 802.11p/WAVE VANETs / IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC'2011), 28-31 Mar 2011, Cancun, Quintana Roo, 2011. Pp. 1010-1015.

18. *Campolo C., Cozzetti H.A., Molinaro A., Scopigno R.* Augmenting Vehicle-to-Roadside connectivity in multi-channel vehicular Ad Hoc Networks / Journal of Network and Computer Applications, vol. 36, issue 5, 2013. Pp. 1275-1286.

19. *Jhang M.-F., Liao W.* Cooperative and Opportunistic Channel Access for Vehicle to Roadside (V2R) Communications / Springer Mobile Networks and Applications, vol. 15, issue 1, 2010. Pp. 13-19.

20. *Krohn M., Unger H., Tavangarian D.* A Distributed Proxy System for High Speed Clients / Springer Advances in Computer Science and Engineering: 13th International CSI Computer Conference, CSICC 2008 Kish Island, Iran, March 9-11, Revised Selected Papers, vol. 6, 2009. Pp. 404-411.

21. *Milata M., Krumnikl M., Moravec P.* On the Usability of Vehicle-to-Roadside Communications Using IEEE 802.11b/g Unplanned Wireless Networks / Springer Digital Information Processing and Communications: International Conference, ICDIPC 2011, Ostrava, Czech Republic, July 7-9, 2011, Proceedings, Part II, vol. 189, 2011. Pp. 167-177.

22. *Niyato D., Hossain E., Issariyakul T.* An Adaptive WiFi/WiMAX Networking Platform for Cognitive Vehicular Networks / Springer Cognitive Radio Mobile Ad Hoc Networks, Part V, 2011. Pp. 311-334.

23. *Doyle N.C., Jaber N.R., Tepe K.E.* Complete architecture and demonstration design for a new combined WiMAX/DSRC system with improved vehicular networking efficiency / Ad Hoc Networks, vol. 11, issue 7, 2013. Pp. 2026-2048.

24. *Vishnevsky V.M., Larionov A.A., Semenova O.V.* Performance evaluation of the high-speed wireless tandem network using centimeter and millimeter-wave channels / Problemy upravlenija, № 4, 2013. Pp. 50-56. (*in Russian*)

25. *Vishnevsky V.M., Larionov A.A., Tselikin Yu.V.* Road safety systems based on wireless broadband communication and RFID technologies design methods research and analysis / T-Comm: Телекоммуникации и транспорт, № 7, 2012. Pp. 48-54. (*in Russian*).

26. *Vishnevsky V.M., Dudin A.N., Klimenok V.I.* Tandem gueueing system with correlated input and cross-traffic / Springer Communications in Computer and Information Science. Vol. 370, 2013. Pp.416-425.

27. *Boucherie R.J., Wal J.* Transient handover blocking probabilities in road covering cellular mobile networks / Computer Networks, vol.42, issue 4, 2003. Pp. 537-550.

28. *Khabbaz M.J., Fawaz W.F., Assi C.M.* Modeling and Delay Analysis of Intermittently Connected Roadside Communication Networks / IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 61, issue 6, 2012. Pp. 2698-2706.

29. *Mittag J., Papanastasiou S., Hartenstein H., Strom E.G.* Enabling Accurate Cross-Layer PHY/MAC/NET Simulation Studies of Vehicular Communication Networks / Proceedings of the IEEE. Special Issue on Vehicular Communications, vol. 99, issue 7, 2011. Pp. 1311-1326 .

30. *Yamao Y., Minato K.* Vehicle-roadside-vehicle relay communication network employing multiple frequencies and routing function / 6th International Symposium on Wireless Communication Systems (ISWCS'2009), 7-10 Sep 2009, Tuscany, 2009. Pp. 413-317.

31. *Kaul S., Ramachandran K., Shankar P., Oh S., Gruteser M., Seskar I., Nadeem T.* Effect of Antenna Placement and Diversity on Vehicular Network Communications / 4th Annual IEEE Communications Society Conference on Sensor, Mesh and Ad Hoc Communications and Networks (SECON '07), 18-21 Jun 2007, San Diego, CA, 2007. Pp. 112-121.

32. *Anbaran A.G., Mohammadi A., Abdipour A.* Capacity enhancement in vehicle to roadside networks using ESPAR technique / IEEE International Wireless Symposium (IWS'2013), 14-18 Apr 2013, Beijing, 2013. Pp.1-4.

33. *Cheng H., Yamao Y.* Reliable Inter-Vehicle Broadcast Communication with Sectorized Roadside Relay Station / IEEE 77th Vehicular Technology Conference (VTC Spring '2013), 2-5 Jun 2013, Dresden, 2013. Pp.1-5.

34. *Mostafa A., Vegni A.M., Agrawal D.P.* A probabilistic routing by using multi-hop retransmission forecast with packet collision-aware constraints in vehicular networks / Ad Hoc Networks, vol. 14, 2014. Pp. 118-129.

35. *Cassidy W.G., Jaber N., Tepe K.E.* Collision correction using a cross-layer design architecture for dedicated short range communications vehicle safety messaging / Ad Hoc Networks, vol. 15, 2014. Pp. 14-24.

METHODS FOR RESEARCH AND BUILDING UP THE BROADBAND WIRELESS COMMUNICATION NETWORKS ALONG THE LONG TRANSPORT ROUTES

Vishnevsky V.M., *Moscow, Russia,* ***vishn@inbox.ru***; **Krishnamoorthy A.**, *Cochin, India,* ***achyuthacusat@gmail.com***;
Kozyrev D.V., *Moscow, Russia,* ***kozyrevdv@gmail.com***; **Larionov A.A.**, *Moscow, Russia,* ***larioandr@gmail.com***;
Ivanov R.E., *Moscow, Russia,* ***iromcorp@gmail.com***

Abstract. Creation of a modern infrastructure for multimedia data (voice, data, video) transmission along the long transport routes is one of the most important problems while designing and building up the new highways and exploiting the existing ones. The solution of this problem is especially relevant for countries with a vast territory, like the Russian Federation. Creation of such communication infrastructure allows to: provide the operating control over the technical parameters of a route by the means of high-speed data transfer from sensors and data units to the Control Center; provide the security control over the route sections and strategically important objects using data from the video surveillance systems; provide the voice communication (IP-telephony) and transmission of multimedia information between the stationary and mobile objects on long highways as well as communication with the Control Center, etc. The paper presents an analytical review of studies in the field of research and design of broadband wireless networks along the long highways, published in recent years by leading national and international publishers. We describe the technology of creation of wireless networks of this class on the basis of IEEE 802.11n, s, IEEE 802.16 and UMTS (LTE) protocols. We investigate the methods and algorithms for the optimal location of the base stations along highways, which maximize the coverage area of the route under constraints on the total cost and the delay time of data package transmission. An overview of the articles on the models of queuing theory, game theory and simulation is given, which are used for performance evaluation and optimization of the road communication networks. The final part of the article deals with the methods of interference and collision mitigation and solutions of the "hidden station" problem. These methods are aimed at improving the quality of performance of wireless networks along the extended transport routes. In general, the carried-out review is a useful tool for experts in the field of communications for orientation in numerous (mostly foreign) studies on performance evaluation and design of broadband wireless networks, which have been published in recent years. The review has shown that amount of works in this actual area has been continuously increasing which demonstrates not only the relevance but also the high practical need for such studies.

Keywords: *broadband wireless communication networks, long transport systems, base stations, wireless communication protocols, analytical modeling and simulation, interference.*

References

1. *Vishnevsky V.M., Portnoi S.L., Shakhnovich I.V.* WiMAX Encyclopaedia. Way to 4G. Tekhnosfera, Moscow, 2010. 470 p. (*in Russian*).
2. *Vishnevsky V.M., Semenova O.V.* Polling Systems: Theory and Applications for Broadband Wireless Networks. London: Academic Publishing, 2012. 317 p.
3. 802.11-2012 IEEE Standard for Information technology. Telecommunications and information exchange between Local and metropolitan area networks. Specific requirements Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications. IEEE Std., March 2012.
4. *Brahim M.B., Drira W., Filali F.* Roadside units placement within city-scaled area in vehicular ad-hoc networks / 3rd International Conference on Connected Vehicles & Expo (ICCVE 2014), 3-7 Nov 2014, Vienna, Austria, 2014.
5. *Cavalcante E.S., Aquino A.L.L., Pappa G.L., Loureiro A.A.F.* Roadside unit deployment for information dissemination in a VANET: an evolutionary approach / 14th Annual Conference Companion on Genetic and Evolutionary Computation (GECCO '12), 2012, NY, USA, 2012, pp. 27-34.
6. *Liu H., Ding S., Yang L., Yang T.* A Connectivity-based Strategy for Roadside Units Placement in Vehicular Ad Hoc Networks / IEEE International Journal of Hybrid Information Technology. Vol. 7, issue 1, 2014, pp. 91.
7. *Reis A.B., Sargento S., Neves F., Tonguz O.K.* Deploying Roadside Units in Sparse Vehicular Networks: What Really Works and What Does Not / IEEE Transactions on Vehicular Technology. Vol. 63, issue 6, 2014, pp. 2794-2806.
8. *Lee J.* Design of a Network Coverage Analyzer for Roadside-to-Vehicle Telematics Networks / Ninth ACIS International Conference on Software Engineering, Artificial Intelligence, Networking, and Parallel/Distributed Computing, 2008 (SNPD '08), 6-8 Aug 2008, Phuket, 2008, pp. 201-205.
9. *Lee J., Kim C.M.* A Roadside Unit Placement Scheme for Vehicular Telematics Networks / Springer Lecture Notes in Computer Science. Vol. 6059, 2010, pp. 196-202.
10. *Xie B., Xia G., Chen Y., Xu M.* Roadside Infrastructure Placement for Information Dissemination in Urban ITS Based on a Probabilistic Model. Springer Lecture Notes in Computer Science. Vol. 8147, 2013, pp. 322-331.
11. *Wu T.-J., Liao W., Chang C.-J.* A Cost-Effective Strategy for Road-Side Unit Placement in Vehicular Networks. IEEE Transactions on Communications. Vol. 60, issue 8, 2012, pp. 2295-2303.
12. *Bisnik N., Abouzeid A.* Delay and Throughput in Random Access Wireless Mesh Networks. IEEE International Conference on Communications (ICC '06), Istanbul, 2006, pp. 403-408.
13. *Chakraborty S., Nandi S.* IEEE 802.11s Mesh Backbone for Vehicular Communication: Fairness and Throughput. IEEE Transactions on Vehicular Technology. Vol. 62, issue 5, 2013, pp. 2193-2203.
14. *Karunagaran S., Sundararajan S., Poroor J., Dhar A.* Mesh-Tree Topology For Vehicular Networks. International Conference on Testbeds and Research Infrastructures for the Development of Networks & Communities and Workshops, 6-8 Apr 2009, Washington, DC, 2009.
15. *Vishnevsky V.M., Minnikhanov R.N., Dudin A.N., Klimenok V.I., Larionov A.A., Semenova O.V.* New generation of hardware-software for road safety systems and its application in intellectual transport systems. Informacionnye tehnologii i vychislitel'nye sistemy. No. 4, 2013, pp.17-26. (*in Russian*).
16. *Wu Q., Zheng J.* Performance modeling and analysis of IEEE 802.11 DCF based fair channel access for vehicle-to-roadside communication in a non-saturated state. Springer Wireless Networks. Vol. 21, Issue 1, 2014, pp. 1-11.
17. *Campolo C., Molinaro A.* On vehicle-to-roadside communications in 802.11p/WAVE VANETs. IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC'2011), 28-31 Mar 2011, Cancun, Quintana Roo, 2011, pp. 1010-1015.
18. *Campolo C., Cozzetti H.A., Molinaro A., Scopigno R.* Augmenting Vehicle-to-Roadside connectivity in multi-channel vehicular Ad Hoc Networks. Journal of Network and Computer Applications. Vol. 36, issue 5, 2013, pp. 1275-1286.
19. *Jhang M.-F., Liao W.* Cooperative and Opportunistic Channel Access for Vehicle to Roadside (V2R) Communications. Springer Mobile Networks and Applications. Vol. 15, issue 1, 2010, pp. 13-19.
20. *Krohn M., Unger H., Tavangarian D.* A Distributed Proxy System for High Speed Clients / Springer Advances in Computer Science and Engineering: 13th International CSI Computer Conference, CSICC 2008 Kish Island, Iran, March 9-11, Revised Selected Papers. Vol. 6, 2009, pp. 404-411.
21. *Milata M., Krumnikl M., Moravec P.* On the Usability of Vehicle-to-Roadside Communications Using IEEE 802.11b/g Unplanned Wireless Networks. Springer Digital Information Processing and Communications: International Conference, ICDIPC 2011, Ostrava, Czech Republic, July 7-9, 2011, Proceedings, Part II. Vol. 189, 2011, pp. 167-177.
22. *Niyato D., Hossain E., Issariyakul T.* An Adaptive WiFi/WiMAX Networking Platform for Cognitive Vehicular Networks. Springer Cognitive Radio Mobile Ad Hoc Networks, Part V, 2011, pp. 311-334.
23. *Doyle N.C., Jaber N.R., Tepe K.E.* Complete architecture and demonstration design for a new combined WiMAX/DSRC system with improved vehicular networking efficiency. Ad Hoc Networks. Vol. 11, issue 7, 2013, pp. 2026-2048.
24. *Vishnevsky V.M., Larionov A.A., Semenova O.V.* Performance evaluation of the high-speed wireless tandem network using centimeter and millimeter-wave channels. Problemy upravlenija. No. 4, 2013, pp. 50-56. (*in Russian*).
25. *Vishnevsky V.M., Larionov A.A., Tselikin Yu.V.* Road safety systems based on wireless broadband communication and RFID technologies design methods research and analysis. Telekommunikacii i transport (T-Comm). No. 7, 2012, pp. 48-54. (*in Russian*).
26. *Vishnevsky V.M., Dudin A.N., Klimenok V.I.* Tandem gueueing system with correlated input and cross-traffic / Springer Communications in Computer and Information Science. Vol. 370, 2013, pp.416-425.
27. *Boucherie R.J., Wal J.* Transient handover blocking probabilities in road covering cellular mobile networks. Computer Networks. Vol. 42, issue 4, 2003, pp. 537-550.
28. *Khabbaz M.J., Fawaz W.F., Assi C.M.* Modeling and Delay Analysis of Intermittently Connected Roadside Communication Networks. IEEE Transactions on Vehicular Technology. Vol. 61, issue 6, 2012, pp. 2698-2706.
29. *Mittag J., Papanastasiou S., Hartenstein H., Strom E.G.* Enabling Accurate Cross-Layer PHY/MAC/NET Simulation Studies of Vehicular Communication Networks. Proceedings of the IEEE. Special Issue on Vehicular Communications. Vol. 99, issue 7, 2011, pp. 1311-1326 .
30. *Yamao Y., Minato K.* Vehicle-roadside-vehicle relay communication network employing multiple frequencies and routing function / 6th International Symposium on Wireless Communication Systems (ISWCS'2009), 7-10 Sep 2009, Tuscany, 2009, pp. 413-317.
31. *Kaul S., Ramachandran K., Shankar P., Oh S., Gruteser M., Seskar I., Nadeem T.* Effect of Antenna Placement and Diversity on Vehicular Network Communications / 4th Annual IEEE Communications Society Conference on Sensor, Mesh and Ad Hoc Communications and Networks (SECON '07), 18-21 Jun 2007, San Diego, CA, 2007, pp. 112-121.
32. *Anbaran A.G., Mohammadi A., Abdipour* A. Capacity enhancement in vehicle to roadside networks using ESPAR technique / IEEE International Wireless Symposium (IWS'2013), 14-18 Apr 2013, Beijing, 2013, pp.1-4.
33. *Cheng H., Yamao Y.* Reliable Inter-Vehicle Broadcast Communication with Sectorized Roadside Relay Station. IEEE 77th Vehicular Technology Conference (VTC Spring '2013), 2-5 Jun 2013, Dresden, 2013, pp.1-5.
34. *Mostafa A., Vegni A.M., Agrawal D.P.* A probabilistic routing by using multi-hop retransmission forecast with packet collision-aware constraints in vehicular networks. Ad Hoc Networks. Vol. 14, 2014, pp. 118-129.
35. *Cassidy W.G., Jaber N., Tepe K.E.* Collision correction using a cross-layer design architecture for dedicated short range communications vehicle safety messaging. Ad Hoc Networks. Vol. 15, 014, pp. 14-24.

Information about authors: *Vladimir Vishnevsky, professor, Dr. Sc., head of laboratory, V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia; Achyutha Krishnamoorthy, professor, Dr.Sc., professor of Applied Mathematics, Department of Maths., Cochin University of Science & Technology, Cochin, India; Dmitry Kozyrev, Ph.D., senior staff scientist, V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of RAS, Moscow, Russia; Andrei Larionov, staff scientist, V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of RAS, Moscow, Russia; Roman Ivanov, programmer, V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of RAS, Moscow, Russia*

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ОБНАРУЖИТЕЛЬ ОДИНОЧНЫХ ИМПУЛЬСНЫХ ПОМЕХ С ФИКСИРОВАННЫМ И СЛЕДЯЩИМ ПОРОГОМ

Зельманов Самуил Соломонович,
к.т.н., доцент Волго-Вятского филиала МТУСИ, Нижний Новгород, Россия, ***zelmanss@yandex.ru***

Ключевые слова: *энергетический критерий, фиксированный порог, следящий порог, мгновенный спектр, квазидискретная структура.*

Исследуется использование энергетического критерия обнаружения одиночной импульсной помехи при фиксированном и следящем пороге обнаружения. Известно, что в случае, когда пиковое значение помехи меньше уровня сигнала, а спектры их перекрываются, обнаружение помехи известными способами становится подчас недостаточно эффективным, не говоря уже о раннем обнаружении помехи. Однако, при использовании некоторых особенностей мгновенного спектра отрезков речевого сигнала, имеющих квазидискретную структуру, имеется возможность раннего обнаружения импульсной помехи. В этом случае рассматриваются довольно короткие отрезки смеси сигнала и помехи, длительность которых имеет порядок длительности импульсной помехи, то есть единиц или десятков миллисекунд. При этом ширина полосы пропускания фильтра, на который воздействует смесь сигнала и помехи, должна соответствовать среднестатистическому расстоянию между двумя центральными соседними частотами "линий" квазидискретного мгновенного спектра речи. Это расстояние составляет величину порядка 200-500 Герц. В этом случае скорость изменения энергии контура, вызываемая речевым сигналом, будет сравнительно небольшой. Это объясняется тем, что она определяется шириной среднестатистической "линии" мгновенного спектра этого сигнала, величина которой значительно меньше ширины полосы пропускания контура. Скорость же изменения энергии контура, вызываемая помехой, определяется шириной полосы пропускания контура, величина которой, по крайней мере, в несколько раз больше среднестатистической ширины "линии" мгновенного спектра речи. Поэтому скорость изменения мгновенной энергии контура, обусловленная действием помехи, будет значительно больше по сравнению со скоростью изменения энергии, обусловленной действием сигнала. Это обстоятельство и позволяет обнаружить помеху в случае, когда её пиковое значение меньше уровня сигнала.

Исследуются вероятностные характеристики обнаружения одиночных импульсных помех и величина выигрыша с учётом фазовых соотношений между сигналом и помехой при их одновременном действии для случая фиксированного порога обнаружения. Определяется зависимость вероятности обнаружения помехи при заданной ложной тревоге или отношения помеха/сигнал. Исследуется возможность дополнительного выигрыша за счет учета квазидискретной структуры спектра и при использовании следящего порога обнаружения помехи.

Для цитирования:
Зельманов С.С. Энергетический обнаружитель одиночных импульсных помех с фиксированным и следящим порогом // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2015. – Том 9. – №5. – С. 16-24.

For citation:
Zelmanov S.S. Energetik detector of single impulse interference with fixed and tracing threshold. T-Comm. 2015. Vol 9. No.5, pp. 16-24. (*in Russian*).

Введение

Помехоустойчивость радиосвязи по отношению к импульсным помехам включает в себя задачу достаточно раннего обнаружения помехи с целью ее подавления. В работе [1] предлагалось разделение частотного звукового диапазона на формантные области и использование соответствующих им полосовых фильтров, на вход которых подается смесь сигнала и помехи. Предложен критерий достаточно раннего обнаружения импульсной помехи, основанный на некоторых особенностях характеристик мгновенного спектра отрезков речевого сигнала, имеющих квазидискретную структуру при длительности отрезков порядка длительности импульсной помехи, то есть единиц или десятков миллисекунд.

С учетом характера этого спектра, установлено, что имеется некоторая статистически оптимальная ширина полосы пропускания фильтра (контура), при которой обнаружение импульсной помехи будет наиболее эффективным. Для этого ширина полосы пропускания фильтра должна быть равна среднестатистическому расстоянию между двумя центральными соседними частотами «линий» квазидискретного мгновенного спектра речи, величиной порядка 200-500 Герц.

При этом действие на каждый фильтр соответствующей форманты речевого сигнала можно рассматривать как воздействие АМ-сигнала. В этом случае скорость изменения энергии контура, вызываемая речевым сигналом, будет определяться шириной среднестатистической «линии» мгновенного спектра этого сигнала и будет сравнительно небольшой, так как её величина будет значительно меньше ширины полосы пропускания контура. Скорость же изменения энергии контура, вызываемая помехой, будет определяться шириной полосы пропускания контура, которая, по крайней мере, в несколько раз больше среднестатистической ширины «линии» мгновенного спектра речи. Поэтому скорость изменения мгновенной энергии контура под действием помехи будет более значительной по сравнению со скоростью изменения энергии, обусловленной сигналом. Это обстоятельство и может позволить обнаружить помеху в случае, когда её пиковое значение меньше уровня сигнала.

Для рассмотренного случая дифференциальное уравнение контура, настроенного на частоту ω, в любом из каналов имеет вид:

$$\ddot{q}(t)+\alpha\dot{q}(t)+\omega^2 q(t)=\frac{1}{L}\left[e_c(t)+e_n(t)\right], \qquad (1)$$

где $q(t)$ – мгновенный заряд, $e_c(t)$ – ЭДС сигнала в контуре, $e_{\Pi}(t)$ – ЭДС помехи в контуре, $e_{\Pi}(t)=Ate^{-\beta t}$, где A – параметр помехи, $\frac{A}{e\beta}$ – пиковое значение помехи, ΔF – полоса пропускания контура, $\beta=\pi\Delta F$, $\alpha << \omega$, где α – затухание контура.

В качестве модели процесса было принято следующее выражение речевого сигнала на интервале $0\le t\le T$:

$$e_c(t)=\sum_{k=1}^{k=N} a_k Sin(k\omega_0 t+\varphi_k)+n(t), \qquad (2)$$

где $n(t)$ – дополнительный шум, a_k – амплитуды составляющих спектра речевого сигнала (считаются независимыми и распределенными случайно), φ_k – фазы составляющих спектра речевого сигнала (считаются независимыми и распределенными равномерно в интервале [0-2π].

При этом на входе каждого контура рассматривалась эффективно действующая некоторая часть формантной области, которая для простоты рассмотрения была представлена выражением вида:

$$e_c(t)=E\left[1+m\cos(\Omega t+\psi)\right]\sin(\omega t+\varphi) \qquad (3)$$

В результате решения уравнения (1) был определён модуль максимума скорости изменения мгновенной энергии в контуре, обусловленной действием сигнала и помехи:

$$\left|W'_{C\max}\right|=\frac{2m_1Q^2\Omega E^2}{L\omega^2} \text{ и } W^1_{\Sigma\Pi}(t)_{\max}=A_m^2\frac{0.65}{\beta L} \qquad (4)$$

где $A_m=\frac{A}{e\beta}$ – пиковое значение ЭДС помехи в контуре.

В результате было получено предельное соотношение по мощности между пиковым значением помехи и среднеквадратической амплитудой сигнала, при котором еще возможно разделение импульсной помехи и сигнала:

$$\left(\frac{A_m}{\sigma_m}\right)^2=0{,}32\frac{mQ^2\Omega\beta}{\omega^2\sqrt{1+a^2}}\cdot\frac{n}{e^n} \qquad (5)$$

$a=\frac{2\Omega}{\omega}Q$; Q – добротность контура, $n=\frac{\omega}{\Omega_0}$, Ω_0 – частотная составляющая речевого сигнала.

Отношение (5), вычисленное при Q=10; m=1; Ω=314. (F=50); ω=6280 c^{-1},(f=1000Гц); n=5; Ω_0=1256, (F_0=200) показало результат

$$\frac{A_m}{\sigma_m}\cong 0{,}22 \qquad (6)$$

Это означает, что обнаружение импульсной помехи в смеси сигнала и импульсной помехи возможно, когда величина пикового значения помехи составляет примерно пятую часть среднеквадратического значения амплитуды сигнала, что и характеризует достаточно раннее обнаружение помехи с целью её подавления.

Постановка задачи

Проведенная оценка возможности раннего обнаружения импульсной помехи является несколько приближенной, т.к. при этом не учитывались фазовые соотношения между сигналом и помехой в контуре при одновременном действии сигнала и помехи. Обнаружение помехи с учетом введённого энергетического критерия возможно при превышении скорости изменения суммарной мгновенной энергии контура определенной пороговой величины, зависящей только от сигнала. Обсужденный критерий и обнаружение импульсной помехи могут быть реализованы с помощью блок-схемы, приведенной на рис. 1.

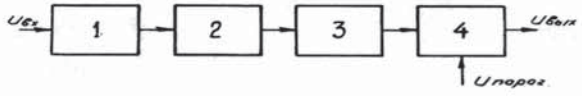

Рис. 1. Функциональная блок-схема обнаружителя импульсных помех канала с фиксированным порогом

В этой схеме напряжение речевого или музыкального сигнала вместе с помехой вступает на узкополосный фильтр **1**, далее на энергетический детектор **2** и дифференциатор **3**. В пороговом устройстве **4** происходит сравнение сигнала с выхода дифференциатора с опорным пороговым напряжением, при превышении которого фиксируется помеха.

В связи с этим представляет интерес исследование вероятностных характеристик метода энергетического обнаружения одиночных импульсных помех с учётом фазовых соотношений между сигналом и помехой при их одновременном действии при наличии фиксированного и следящего порогов обнаружения.

Решение задачи

1. Режим обнаружения одиночных импульсных помех при фиксированном пороге

Этому случаю соответствует блок-схема обнаружителя, изображенная на рис.1. Величина порога $U_{порог}$ порогового устройства постоянна и равна максимальной величине $W'_{C\max}$, определяемой выражением (4).

Запишем выражение для суммарной скорости изменения мгновенной энергии контура при одновременном действии сигнала и помехи:

$$W'_{\Sigma}(t) = L\dot{q}_C(t)\left[\ddot{q}_c(t) + \omega^2 q_C(t)\right] + L\dot{q}_C(t)\left[\ddot{q}_{\Pi}(t) + \omega^2 q_{\Pi}(t)\right] + \\ + L\dot{q}_{\Pi}(t)\left[\ddot{q}_C(t) + \omega^2 q_C(t)\right] + L\dot{q}_{\Pi}(t)\left[\ddot{q}_{\Pi}(t) + \omega^2 q_{\Pi}(t)\right] \quad (7)$$

Первое и четвертое слагаемые в полученном выражении (7) обусловлены действием сигнала и помехи соответственно, второе и третье слагаемые зависят одновременно и от помехи, и от сигнала. Решение, полученное ранее для сигнала, при условии $m_1 \ll 1$ будет иметь вид:

$$q_C(t) \approx -\frac{E}{r\omega}\cos(\omega t + \varphi), \quad \dot{q}_C(t) = \frac{E}{r}\sin(\omega t + \varphi), \\ \ddot{q}_C(t) = \frac{E\omega}{r}\cos(\omega t + \varphi) \quad (8)$$

Это означает, что составляющие $W'_{\Sigma}(t)$, содержащие множитель $\left[\ddot{q}_C(t) + \omega^2 q_C(t)\right]$, незначительны по своей величине по сравнению с другими составляющими, и ими можно пренебречь. Кроме того, можно показать, что для моментов обнаружения в интервале $0 \le \beta t \le 0{,}8$, достаточно хорошо выполняется неравенство $\dot{q}_{\Pi}(t) << \dot{q}_C(t)$.

С учетом этих замечаний выражение для суммарной скорости изменения энергии в контуре будет иметь вид:

$$W'_{\Sigma}(t) = L\dot{q}_c(t)\left[\ddot{q}_{\Pi}(t) + \omega^2 q_{\Pi}(t)\right] \quad (9)$$

Полученное также ранее решение для помехи при условии $\omega = \beta$ запишется так:

$$q_{\Pi}(t) = \frac{1{,}35}{\beta^2 L} A_m\left(\beta t e^{-\beta t} + e^{-\beta t} - \cos\omega t\right); \\ \dot{q}_{\Pi}(t) = \frac{1{,}35}{\beta L} A_m\left(-\beta t e^{-\beta t} + \sin\omega t\right); \quad (10)$$

$$\ddot{q}_{\Pi} = \frac{1{,}35}{L} A_m\left(\beta t e^{-\beta t} - e^{-\beta t} - \cos\omega t\right)$$

Подставим (10) в (8) и, проведя соответствующие преобразования, получим:

$$W'_{\Sigma}(t) = \frac{2{,}7 A_m E}{r}\beta t e^{-\beta t}\sin(\omega t + \varphi) \quad (11)$$

Рассмотрим отношение суммарной скорости изменения энергии в контуре к максимальной скорости, обусловленной лишь одним сигналом:

$$\frac{W'_{\Sigma}(t)}{W'_{C.\max}(t)} = N \quad (12)$$

Для практических случаев обнаружения помех величина N всегда может быть задана. Тогда условие обнаружения помехи может быть представлено следующим неравенством:

$$N \le \left|\frac{1{,}35}{m}\cdot\frac{A_m}{E}\cdot\frac{\omega}{\Omega}\cdot\frac{\sqrt{1+a^2}}{Q}\beta t e^{-\beta t}\sin(\omega t + \varphi)\right| \quad (13)$$

При этом следует заметить, что члены выражения (7) , которыми мы ранее пренебрегли, способствовали бы более успешному выполнению неравенства (13). Это означает, что результаты обнаружения помехи, которые будут получены при таком допущении, следует считать несколько заниженными. Перепишем неравенство (13) в следующем виде:

$$B \le \left|\sin(\omega t + \varphi)\right| \quad (14)$$

где $$B = \frac{N}{\frac{1{,}35}{m}\cdot\frac{A_m}{E}\cdot\frac{\omega}{\Omega}\cdot\frac{\sqrt{1+a^2}}{Q}\beta t e^{-\beta t}}$$

Правая часть неравенства (14) является функцией y случайного аргумента φ, характеризующего величину тока и заряда в контуре в момент прихода помехи ($t = 0$), т.е.

$$y = \left|\sin(\omega t + \varphi)\right| \quad (15)$$

Можно полагать, что случайная величина φ в (15) распределена по закону равномерной плотности в интервале: $0 \le \varphi \le \pi$. При этом плотность распределения величины φ может быть представлена как $f(\varphi) = \frac{1}{\pi}$.

Определим закон распределения функции y случайного аргумента:

$$G(y) = 2\int_0^{\arcsin y}\frac{1}{\pi}d\varphi = \frac{2}{\pi}\arcsin y \quad (16)$$

Тогда выражение для плотности распределения величины **y** будет иметь вид:

$$g(y) = \frac{d}{dy}G(y) = \frac{2}{\pi}\cdot\frac{1}{\sqrt{1-y^2}} \quad (17)$$

Зависимость величины) $g(y)$ представлена на рис. 2.

Определим вероятность обнаружения помехи с учетом (17):

$$P_0 = \int_B^1 g(y)dy = \frac{\pi}{2}\left[\frac{\pi}{2} - \arcsin B\right] \quad (18)$$

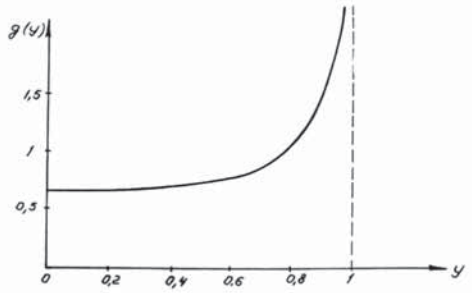

Рис.2. Плотность распределения величины y

Полученное общее выражение для вероятности обнаружения помехи учитывает фазовые соотношения между сигналом и помехой при заданном отношении помеха/сигнал. Поскольку амплитуда помехи и амплитуды составляющих спектра речевого сигнала носят случайный характер, необходимо рассмотреть вопрос ошибок обнаружения.

2. Ошибки обнаружения одиночных импульсных помех

В теории обнаружения рассматривают ошибки типа «пропуск» и «ложная тревога». В связи с этим вероятность обнаружения помехи, вычисленная в соответствии с (18), может иметь практическую ценность лишь в том случае, если известно значение ложной тревоги, которое соответствует этой вероятности обнаружения.

Кроме того, необходимо учесть вероятностное распределение амплитуд помехи. Вероятность ложной тревоги зависит от величины установленного порога обнаружения и определяется при условии отсутствия помехи. Вероятность пропусков находится в обратной зависимости от величины вероятности ложной тревоги, а характер этой зависимости определяется законами распределения параметров помехи и сигнала.

При энергетическом обнаружении нас интересует закон распределения амплитуды спектральной составляющей речевого сигнала, на которую настроен наш узкополосный фильтр. Полоса пропускания фильтра в соответствии с выбранным критерием обнаружения должна быть значительно меньше, чем эффективная ширина энергетического спектра речевого сигнала. Только в этом случае условие обнаружения (14) будет выполняться достаточно эффективно. Известно, что когда ширина спектра широкополосного процесса, поданного на вход фильтра, много шире, чем полоса пропускания этого фильтра, то процесс на выходе фильтра имеет тенденцию к нормализации. В этом случае функция распределения этого процесса достаточно близко аппроксимируется нормальным законом. В работах по статистическому исследованию речевого процесса показано, что огибающие узкополосных процессов, характеризующие так называемую «видимую речь», распределены следующим образом [2], [3]:

$$q(x)=\frac{1}{\sqrt{2\pi|x|}}e^{-\frac{|x|}{2}} \qquad (19)$$

$x=\frac{E'}{E'_0}$, E' – амплитуда сигнала на выходе фильтра, E'_0 – среднестатистическое значение амплитуды сигнала на выходе фильтра. Такое распределение имеет процесс, полученный из нормального путем возведения его в квадрат. Дисперсия такого процесса равна учетверенному квадрату среднего значения т.е. :

$\sigma_C^2=4m_C^2$, где $m_C=\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{i=n}E'_{\Pi}(t)$

Вид функции (19) изображен на рис.3.

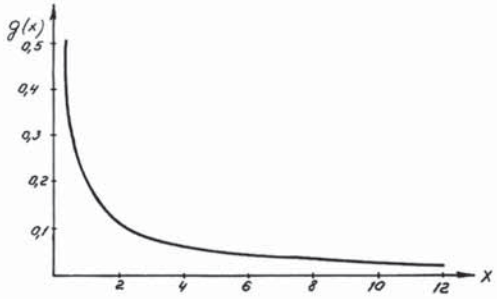

Рис.3. Распределение значений огибающей речевого сигнала

В силу пропорциональности амплитуды сигнала на выходе контура амплитуде входного сигнала будем иметь: $x=\frac{E}{E_0}$, где E – амплитуда сигнала на выходе фильтра, E_0 – среднестатистическое значение амплитуды сигнала.

Что касается амплитуды импульсной помехи, то она также является случайной величиной. Для некоторых широко распространенных видов помех «характерно большое количество малых импульсов при небольшом числе помех большой амплитуды». Такому характеру распределения может соответствовать, например, распределение Рэлея. Тогда для плотности распределения амплитуд импульсных помех получим:

$$q(A_K)=\frac{A_K}{\sigma_{\Pi}^2}e^{-\frac{A_K^2}{2\sigma_{\Pi}^2}} \qquad (20)$$

При отсутствии помехи вероятность ложной тревоги при заданном пороговом значении x_0 определится так:

$$P_{Л.Т.}=\frac{1}{\sqrt{2\pi}}\int_{x_0}^{\infty}\frac{1}{\sqrt{|x|}}e^{-\frac{|x|}{2}}dx=\frac{1}{\sqrt{\pi}}\int_{\frac{x_0}{2}}^{\infty}y^{-\frac{1}{2}}e^{-y}dy \qquad (21)$$

Полученный интеграл представляет собой неполную Гамма-функцию и может быть представлен следующим образом [4]:

$$P_{Л.Т.}(x_0)=\frac{1}{\sqrt{\pi}}\Gamma\left(\frac{1}{2};\frac{x_0}{2}\right)=\Phi\left(\sqrt{\frac{x_0}{2}}\right) \qquad (22)$$

$\Phi\left(\sqrt{\frac{x_0}{2}}\right)$ – интеграл вероятности, $x_0=\frac{E'}{E_0}$; E' – пороговое значение случайной амплитуды.

Зависимость $P_{Л.Т.}(x_0)$ представлена на рис. 4.

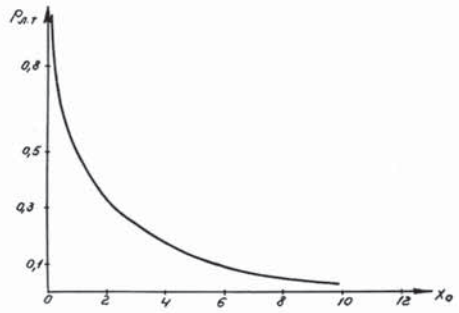

Рис. 4. Вероятность ложной тревоги при заданном пороговом значении x_0

Она дает возможность при заданном значении ложной тревоги $P_{Л.Т.}$ и среднеквадратической амплитуде сигнала σ_m или зависящей от него E_0, определить пороговое значение амплитуды $E^{'}$. Подстановка $E^{'}$ в (14) позволит вычислить соответствующую вероятность обнаружения, т.е. величина B будет равна:

$$B = \frac{N}{\frac{1{,}35}{m} \cdot \frac{A_m}{x_0 E_0} \cdot \frac{\omega}{\Omega} \cdot \frac{\sqrt{1+a^2}}{Q} \beta t e^{-\beta t}} \qquad (23)$$

где x_0 определяется из (22) при заданном значении ложной тревоги $P_{Л.Т.}$

Выражение для вероятности обнаружения при заданной ложной тревоге необходимо усреднить по помехе, т.е. учесть вероятностное распределение пиковых значений помехи. Принимая во внимание результаты предыдущих рассуждений и выражения (18) и (20), получим для усредненной по помехе вероятности обнаружения:

$$P_{СР.0} = \int_0^{\infty} P_0(A_K) q(A_K) dA_K \qquad (24)$$

Можно сравнительно просто вычислить нижнюю границу возможных средних значений вероятности обнаружения. Для этого необходимо в выражении (24) в качестве пикового значения помехи принять любое значение этой случайной величины и вычислить вероятность ее возможного превышения пользуясь известным для помехи законом распределения вида (20):

$$P_{ПР} = \int_{A_K}^{\infty} q(A_K) dA_K \qquad (25)$$

С учетом этого минимальное значение вероятности обнаружения определится как произведение $P_{0\ min} = P_0 \cdot P_П$, где P_0 – вероятность обнаружения помехи. Если принять в качестве $A'_к$ величину $A_K^{'} = \frac{1}{3} A_m$, то вычисляя интеграл (25), получим для вероятности превышения величину 0,91. При этом, задавая различные отношения среднестатистической амплитуды помехи к среднеквадратическому значению амплитуды сигнала, следует учесть, что минимально возможная вероятность обнаружения при этом будет равна $P_{0\ min} = 0{,}91 P_0$. Соответствующие зависимости вероятности обнаружения от отношения помеха/сигнал при заданных ложных тревогах представлены на рис. 5 и 6.

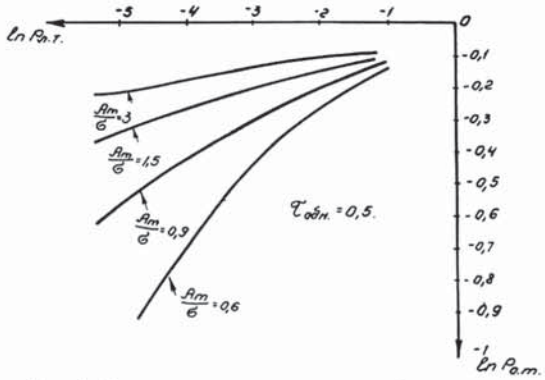

Рис.5. Зависимость вероятности обнаружения при заданных ложных тревогах

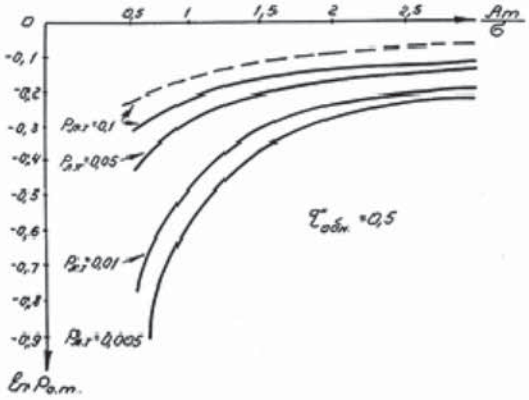

Рис.6. Зависимость вероятности обнаружения при задании отношения помеха/сигнал

Зависимость вероятности обнаружения от момента обнаружения представлена на рис. 7.

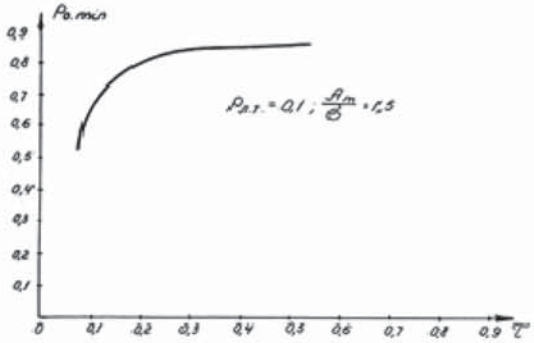

Рис. 7. Зависимость вероятности обнаружения от момента обнаружения

3. Определение дополнительного выигрыша в обнаружении импульсных помех при учете квазилинейной структуры спектра речевого сигнала

Полоса пропускания резонатора была принята нами величиной порядка 100 Гц. В соответствии с этим верхнее граничное значение частоты огибающей напряжения на выходе контура имеет величину порядка 50 Гц, среднестатистическая величина форманты или «линии» – величину порядка 50 Гц, среднестатистическое расстояние между

линиями – величину порядка 1000Гц. Полосу резонатора можно расширить в 6-7 раз, а в качестве верхней граничной частоты огибающей на выходе контура принять значение частоты, соответствующее половине ширины форманты. т.е. F = 25 Гц. Это означает, что величина максимальной скорости изменения энергии в контуре $W'_{c.max}$, обусловленная одним лишь сигналом, уменьшится в 2 раза при одном и том же коэффициенте усиления на резонансной частоте. Теперь выясним, как изменится величина $W'_{\Sigma}(t)$, т. е. множитель $\left[\ddot{q}_n(t)+\omega^2 q_n(t)\right]$, входящий в выражение (9), с расширением полосы пропускания контура. Продифференцируем дважды выражение для заряда в контуре от действия помехи с учетом затухания контура, вычислим значение этого множителя при двух значениях затухания (7α и α), возьмем их отношение и получим:

$$\frac{\left[\ddot{q}_n(t)+\omega^2 q_n(t)\right](7\alpha)}{\left[\ddot{q}_n(t)+\omega^2 q_n(t)\right](\alpha)} \approx (2-2{,}5) \qquad (26)$$

С учетом этого величина B в выражении (14) уменьшится примерно в 4 раза, т.е. $B\ (7\alpha) \approx B(\alpha)/4$.

Это обеспечит дополнительный выигрыш, который определится как отношение:

$$\frac{P_{0q}}{P_0} = \frac{1-\frac{2}{\pi}\arcsin\frac{B}{4}}{1-\frac{2}{\pi}\arcsin B} \approx 1{,}5, \qquad (27)$$

где P_{0q} – вероятность обнаружения с учетом квазидискретной структуры спектра; P_0 – вероятность обнаружения с учетом усредненного спектра.

Таким образом, дополнительный выигрыш в обнаружении импульсных помех с учетом квазилинейной структуры спектра речевого сигнала в 1,5 раза больше по сравнению со случаем усредненного спектра.

4. Определение дополнительного выигрыша в обнаружении одиночных импульсных помех при следящем пороге обнаружения

Этому случаю обнаружения соответствует блок-схема обнаружителя, представленная на рис. 8.

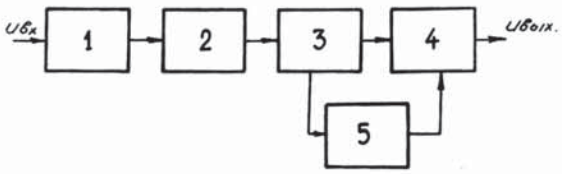

Рис.8. Функциональная блок-схема обнаружителя импульсных помех со следящим порогом; (1 – узкополосный фильтр, 2 – демодулятор, 3 д ифференциатор, 4 – пороговое устройство, 5 – схема слежения за порогом)

Величина напряжения порога изменяется в соответствии с законом изменения скорости мгновенной энергии, обусловленной лишь действием одного сигнала, так как все быстрые изменения величины $W'_{\Sigma}(t)$ не пропускаются схемой слежения. Рассмотрим отношение суммарной скорости изменения энергии к текущей скорости изменения энергии, обусловленной действием лишь одного сигнала:

$$\frac{W'_{\Sigma}(t)}{W'_{C}(t)} = N_1. \qquad (28)$$

В данном случае это условие обнаружения может быть записано на основе (3) и (11) с учетом начальных фаз φ и ψ:

$$B_1 \le \left|\frac{\sin(\omega t+\varphi)}{\sin(\Omega t+\psi)}\right|, \qquad (29)$$

где $B_1 = \dfrac{N_1}{\frac{1{,}35}{m}\cdot\frac{A_m}{E_0}\cdot\frac{\omega}{\Omega}\cdot\frac{\sqrt{1+a^2}}{Q}\beta t e^{-\beta t}}$

N_1 – задается для практических случаев обнаружения помех.

Неравенство (29) может быть представлено так:

$$B_1 \le \left|\frac{\sin\varphi'}{\sin\psi'}\right| \quad (30)$$

где $\varphi' = \omega t+\varphi$ и $\psi' = \Omega t+\psi$, φ' и ψ' – независимые случайные величины в интервалах: $0 \le \varphi' \le \pi$ и $0 \le \psi' \le \pi$.

Поскольку эти случайные величины подчиняются закону равномерной плотности, то для их плотности распределения получим соответственно:

$$f(\varphi') = \frac{1}{\pi} \text{ и } f(\psi') = \frac{1}{\pi} \qquad (31)$$

Определим плотность системы величин φ' и ψ' в (31):

$$f(\psi', \varphi') = \frac{1}{\pi^2} \qquad (32)$$

Тогда законы распределения будут иметь вид:

$$F(\psi') = \frac{\psi'}{\pi};\ F(\varphi') = \frac{\varphi'}{\pi} \qquad (33)$$

Правая часть неравенства (30) является функцией двух независимых случайных величин:

$$Z = \left|\frac{\sin\varphi'}{\sin\psi'}\right| \qquad (34)$$

Определим закон распределения величины Z, для чего построим поверхность $Z = L(\varphi', \psi')$, (рис. 9).

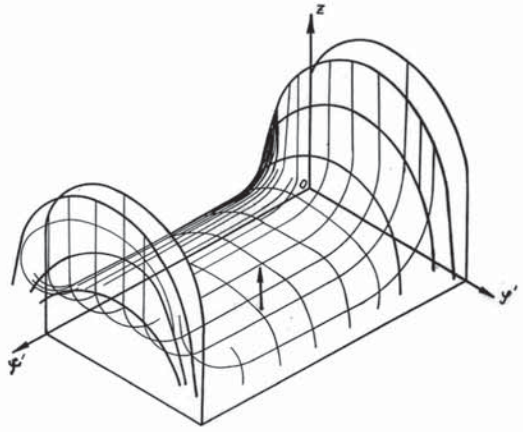

Рис. 9. Закон распределения величины Z

Проведем плоскость *V*, параллельную плоскости $\psi' O\ \varphi'$. Эта плоскость пересечет поверхность по некоторой кривой $L(\varphi',\psi') = Z$. Спроектируем эту кривую на плоскость $\psi' O\ \varphi'$, (рис. 10а).

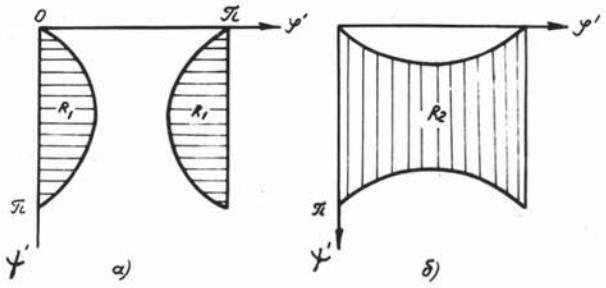

Рис. 10. Закон распределения сечения поверхности по кривой $L(\varphi',\psi') = Z$

Необходимо, чтобы точка с координатами φ', ψ' попала в область R_1. Здесь будут иметь место два случая:

1) $Z \le 1$ и 2) $Z \ge 1$

Определим функцию распределения величины Z

$$G(Z) = \iint_{R_1} f(\varphi',\psi')d\varphi' d\psi' = 2\int_0^{\pi} \int^{\arcsin[Z\sin\psi']} \frac{1}{\pi^2} d\varphi' d\psi' =$$

$$= \frac{2}{\pi^2}\int_0^{\pi} \arcsin[Z\sin\psi']d\psi \qquad (35)$$

Дифференцируя выражение (35) под знаком интеграла, определим плотность распределения величины Z:

$$q(Z) = \frac{d}{dZ}\cdot\frac{2}{\pi^2}\int_0^{\pi}\arcsin[Z\sin\psi']d\psi' = \frac{2}{\pi^2}\int_0^{\pi}\frac{\sin\psi'}{\sqrt{1-Z^2\sin^2\psi'}}d\psi' \qquad (36)$$

Выражение (36) представляет собой эллиптический интеграл, который имеет следующее решение:

$$q_1(Z) = \frac{1}{\pi^2}\cdot\frac{1}{Z}\ln\frac{(1+Z)^2}{(1-Z)^2} \quad \text{при } Z \le 1 \qquad (37)$$

Рассмотрим случай Z > 1.Проекция кривой $L(\varphi',\psi')$ на плоскость $\psi' O\varphi'$ для данного случая представлена на рис. 10б.

Уравнение кривой $L(\varphi',\psi')$ имеет вид: $\psi' = \arcsin[\frac{1}{Z}\sin\varphi]$.

Интегрируя по области R_2, получим:

$$G(Z) = \int_0^{\pi}\int_{\arcsin\left[\frac{1}{Z}\sin\varphi'\right]}^{\pi-\arcsin\left[\frac{1}{Z}\sin\varphi'\right]} \frac{1}{\pi^2}d\psi' d\varphi' ;$$

$$q_2(Z) = \frac{1}{\pi^2}\cdot\frac{1}{Z}\ln\frac{(Z+1)^2}{(Z-1)^2} \quad \text{при } Z > 1. \qquad (38)$$

Выражения (37) и (38) полностью характеризуют вид функции плотности распределения величины Z. Найденная зависимость представлена на рис. 11.

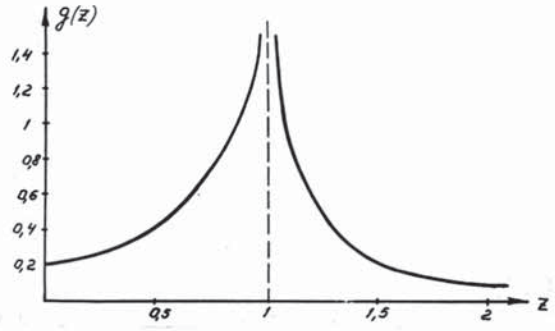

Рис. 11. Вид функции плотности распределения величины Z

Вероятность обнаружения помехи для обоих случаев может быть выражена следующим образом:

$$P_{B_1<1} = \int_{B_1}^{1} q_1(Z)dZ + \int_1^{\infty} q_2(Z)dZ \qquad (39)$$

$$P_{B_1>1} = \int_0^{1} q_1(Z)dZ \int_B^{\infty} q_2(Z)dZ \qquad (40)$$

Выражения (39) и (40) могут быть приведены к более удобному виду, если представить (37) и (38) в виде степенных рядов:

$$\ln\left(\frac{Z+1}{Z-1}\right)^2 = 2\ln\frac{Z+1}{Z-1} = 2\sum_{K=1}^{\infty}\frac{1}{2K-1}\cdot\frac{1}{Z^{2K-1}};\ Z^2 > 1 \qquad (41)$$

$$\ln\left(\frac{1+Z}{1-Z}\right)^2 = 2\ln\frac{1+Z}{1-Z} = 2\sum_{K=1}^{\infty}\frac{1}{2K-1}Z^{2K-1};\ Z^2 < 1 \qquad (42)$$

Ограничимся рассмотрением первых двух членов полученных рядов:

$$q_1(Z) = \frac{4}{\pi^2}\left(1+\frac{Z^2}{3}\right);\ q_2(Z) = \frac{4}{\pi^2}\left(\frac{1}{Z^2}+\frac{1}{3Z^4}\right) \qquad (43)$$

Тогда окончательно вероятность обнаружения помехи после соответствующего интегрирования примет вид:

$$P_1 = 1 - \frac{4}{\pi^2}\left[B_1 + \frac{B_1^3}{9}\right];\ B_1 \le 1 \qquad (44)$$

$$P_2 = \frac{4}{\pi^2}\left[\frac{1}{B_1} + \frac{1}{9B_1^3}\right];\ B_1 > 1 \qquad (45)$$

Определим выигрыш в обнаружении помех, который обеспечивается следящим режимом по сравнению с режимом фиксированного порога по W_{Σ}'. Пусть $N = N_1$, и $B = B_1$. Тогда приближенное выражение для выигрыша в обнаружении будет иметь вид:

$$H = \frac{P_1}{P_0} = \frac{1-\frac{4}{\pi^2}\left(B+\frac{B^3}{9}\right)}{1-\frac{2}{\pi}\arcsin B} \approx \frac{1-\frac{4}{\pi^2}B}{1-\frac{2}{\pi}B} = 1+\frac{4B}{\pi} \qquad (46)$$

Зависимость выигрыша в обнаружении как функция величины *B* приведена на рис. 12.

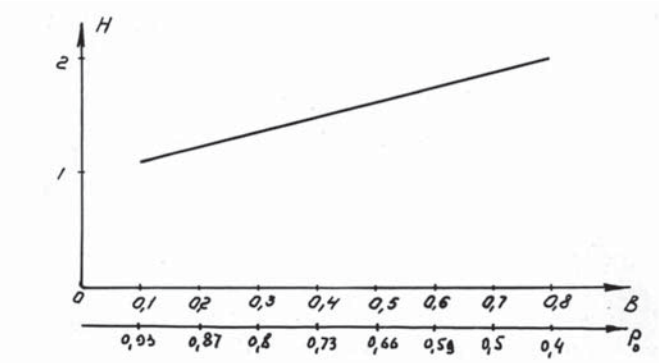

Рис.12. Зависимость выигрыша в обнаружении как функция пороговой величины *B*

Заключение

Таким образом, использование более тонкой структуры спектра речевого сигнала, а именно, особенностей его мгновенного и текущего спектра, с привлечением энергетического критерия, основанного на регистрации скорости изменения мгновенной энергии колебательной системы, позволяют осуществить достаточно раннее обнаружение одиночной импульсной помехи.

При этом следует обратить внимание на то, что процедура раннего обнаружения помехи предполагает непрерывное слежение за мгновенной энергией смеси сигнала и помехи. Для решения этой задачи традиционные инерционные способы детектирования, предполагающие фильтрацию сигнала после нелинейного или параметрического преобразования, малоэффективны. В этом случае наибольший эффект достигается при использовании безынерционного энергетического детектирования [5].

Литература

1. *Зельманов С.С.* Обнаружение импульсной помехи при использовании некоторых характеристик речевого или музыкального сигнала // Вестник Нижегородского университета им Н.И.Лобачевского, 2014. – №1.

2. *Ферсман Б.А.* Экспериментальное исследование статистических свойств музыкальных и речевых радиовещательных сигналов // Акустический журнал. – Том 3, вып.3, 1957.

3. *Величкин А.И.* Статистическое исследование речевого процесса // Электросвязь, 1961. – №8.

4. *Градштейн И.С., Рыжик И.М.* Таблицы интегралов, сумм, рядов и произведений. – 1963.

5. *Зельманов С.С.* Безынерционный амплитудный детектор // Вестник Нижегородского университета имени Н.И.Лобачевского, 2010. – №1.

6. *Зельманов С.С.* Обобщение понятия частотного резонанса на поведенческую модель линейной динамической системы с внешним описанием // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт, 2012. – №5. – С. 44-46.

XIX Международный Форум МАС

«Формирование инфокоммуникаций нового поколения в интересах устойчивого развития»

состоится 13 мая 2015 г.
в рамках деловой программы выставки «Связь–Экспокомм–2015»
(Москва, ЦВК «Экспоцентр», павильон 7, конференц–зал)

Форум проводится в год 150–летия образования Международного союза электросвязи и 70–летия ООН.

На Форуме планируется обсудить вопросы, связанные с вступлением в действие нового Регламента международной электросвязи, стратегических планов и программ, принятых Всемирной конференцией по развитию электросвязи (апрель 2014 г.) под общим девизом «Широкополосная связь в интересах устойчивого развития», а также стратегической резолюции Полномочной конференции МСЭ (ноябрь 2014 г.), содержащей концепцию и общие цели развития сектора электросвязи/ИКТ в мире на период до 2020 г. и другие.

В рамках Форума состоится награждение лауреатов Профессиональной премии Международной академии связи «За вклад в развитие информационного общества России», лауреатов Молодежного конкурса инноваций и инновационных проектов – Новое поколение 2014/2015. Новое поколение, а также академиков МАС – ветеранов (к 70–летию Победы в Великой Отечественной войне).

Секретариат МАС: тел.: (495) 742–53–53, 742–17–72 факс: (495) 742–75–46 e-mail: info@ita.org.ru www.ita.org.ru

ENERGETIK DETECTOR OF SINGLE IMPULSE INTERFERENCE WITH FIXED AND TRACING THRESHOLD

Zelmanov S.S., *Nizhniy Novgorod, Russia,* ***zelmanss@yandex.ru***

Abstract

The energetic criterion of the single interference with fixed and tracking threshold of detection is investigated in this work. It's know that in that case, when the peak value of interference is less than the signal level and their spectrums are exceed, the interference detection by means of know methods becomes sometimes insufficiently effective, not counting early interference detection. However, using some peculiarities of the momentary spectrum of the shorts sections of the speech signal, which have quasidiscrete structure, we have the possibility of early detection of impulse interference. In this case we consider enough short sections of the signal mix and interference the duration of which has the order of impulse interference duration, it means units or dozens of milliseconds. In this case the capacity strip width of the filter, on which the signal mix and interference act, must correspond to the average distance between two central neighboring "line" of quasidiscrete momentary speech spectrum. This distance amounts the value of accuracy order 200-500 Hz.

In this case the change speed of the energy circuit with is caused by the speech signal will be not large. It is explained by the fact that it is determined by the width of the average "line" of the momentary spectrum of this signal and the width value is sufficiently smaller than the strip width of the circuit capacity. But the speed of energy circuit change, which is caused by the interference is caused by the strip width of the circuit capacity the value of which is sometimes larger than average width of "line" of the momentary speech spectrum and as a result the change speed of the momentary energy circuit, caused by the interference action will be efficiently higher in comparison with the energy change speed caused by the signal action. This circumstance gives the possibility to detect interference in the case, when it's peak value smaller than signal level. The possible characteristic of signal impulse interference and the advantage value with the consideration of phase alignments between the simultaneous actions for the case of fixed threshold detecting are the subjects of the investigations in this article. The dependence of possible interference detection with the given false alarm or interference signal relation is also the subject of this investigation. Besides the possibility of the additional advantage is investigated by accounting quasidiscrete structure and by using the tracking threshold of interference detection.

Keywords: *energetic criterion, fixed threshold, tracking threshold, momentary spectrum, quasidiscrete structure.*

References

1. *Zelmanov S.S.* detection of impulse interference with using some characteristic of the speech or musical signal. Bulleting of the Nizhnegorodski university N.I. Lobachevsky. 2014. No.1. 11 p. (*in Russian*).
2. *Fersman B.A.* Experimental investigation of static properties of musical and speech radio signals. Acoustic magazine. Vol. 3, ussue 3. 1957. 150 p. (*in Russian*).
3. *James L. Flanagan.* Analysis, synthesis and perception of the speech. The translation from English under the editorship of A.A. Pirogova. Publishing company "Communication". Moscow. 1968. 395 p. (*in Russian*).
4. *Grandshtein I.S., Ryzhik I.M.* Tables of integrals, sum, series, and products. State publishing house of physical-mathematic literature. Moscow. 1962. 1097 p. (*in Russian*).
5. *Zelmanov S.S.* Non-inertia amplitude detector. Bulleting of the Nizhnegorodski university N.I. Lobachevsky. 2010. No.1. 8 p. (*in Russian*).
6. *Zelmanov S.S.* Generalization of the resonance frequency concept on behavioral model in linear dynamic system with external description. T-Comm. 2012. No. 5, pp. 44-46. (*in Russian*).

Information about author: *Zelmanov S.S., Volgo-Vyatskiy Branch of Moscow Technical University of Communication and Informatics, Nizhniy Novgorod, Russia.*

For citation:
Zelmanov S.S. Energetik detector of single impulse interference with fixed and tracing threshold. T-Comm. 2015. Vol 9. No.5, pp. 16-24. (*in Russian*).

НАДЕЖНОСТЬ СЕТЕЙ АБОНЕНТСКОГО ДОСТУПА LR-PON

Игнатов Александр Владимирович,
аспирант кафедры передачи дискретных сообщений и метрологии Сибирского государственного университета телекоммуникаций и информатики (СибГУТИ), Новосибирск, Россия,
igsascha@mail.ru

Шувалов Вячеслав Петрович,
д.т.н., профессор, начальник кафедры передачи дискретных сообщений и метрологии СибГУТИ, Новосибирск, Россия,
shvp04@mail.ru

Ключевые слова: *сеть абонентского доступа, Next Generation Network, LR-PON, надёжность, оптимизация сетей доступа.*

Бурный рост информационных технологий сегодня позволяет создавать приложения, требующие увеличения пропускной способности сетей передачи информации на всех этапах её прохождения от разработчика приложений к пользователю. Одним из элементов системы передачи информации является сеть абонентского доступа, пропускная способность которой в настоящее время также имеет тенденцию к увеличению. Высокие скорости передачи информации, и в связи с этим изменяющаяся структура сетей доступа, оказывают влияние на требования к надёжности сети. В этом аспекте, современные сети LR-PON не являются исключением.

Целью проводимых исследований, описанных в статье, является обзор современного состояния и развития сетей абонентского доступа в целом, и в частности сетей LR-PON, являющихся развитием пассивных оптических сетей абонентского доступа PON. Основное внимание уделено исследованиям в области оптимизации сетей абонентского доступа по критерию надёжности. Рассмотрены основные принципы построения современных сетей абонентского доступа. Дано описание оптических сетей PON и LR-PON, как дальнейшего развития PON. Проведён анализ подходов к обеспечению надёжности пассивных оптических сетей дальнего действия (LR-PON).

Исследования проведены методами изучения иностранной и отечественной литературы в области надёжности сетей доступа. Статья построена в следующем порядке: в первой главе проводится описание основ построение современных сетей абонентского доступа. Во второй главе описывается появление и развитие отдельного класса сетей абонентского доступа, таких как пассивные оптические сети PON и LR-PON. В третьей главе делается упор на оценку сетей LR-PON с позиции теории надёжности. Описываются современные подходы оптимизации сетей доступа по критериям надёжности и стоимости.

В конце работы составлена схема, в которой отражается классификация основных направлений исследования надёжности LR-PON. Сделаны выводы о целесообразности дальнейшей работы по исследованию вопросов в области оптимизации LR-PON.

Для цитирования:
Игнатов А.В., Шувалов В.П. Надежность сетей абонентского доступа LR-PON // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2015. – Том 9. – №5. – С. 25-30.

For citation:
Ignatov A.V., Shuvalov V.P. The reliability of subscriber access networks LR-PON. T-Comm. 2015. Vol 9. No.5, pp. 25-30. (*in Russian*).

1. Структура сети абонентского доступа

Абонентская сеть (сеть доступа – СД) в своём составе имеет большое количество различных элементов, основными из которых являются оконечное устройство, центр коммутации и линия связи между ними.

Оконечные устройства – технические устройства, выполняющие функции интерфейса между пользователем и поступающей из сети информацией. В настоящее время слова "Оконечное устройство" часто заменяются более общим термином, инвариантным к виду коммутируемой (вторичной) сети, – "Терминал".[1]

Центр коммутации – точка перераспределения информации между абонентскими терминалами, а так же точка приема и передачи на другие станции или даже в другие сети. В технической литературе для центра коммутации используется общий термин "местная станция" (МС) – Local exchange (LE). Иногда используется еще один термин – Central Office (CO), который применяется для городских телефонных станций (ГТС) и сельских телефонных станций (СТС. [1], [2], [3].

Абонентская линия (АЛ) – линия связи, соединяющая терминал с узлом доступа. В англоязычной технической литературе используется термин Subscriber line или просто Line. Понятие абонентской линии сейчас заменяется понятием линии доступа (ЛД). Абонентские линии строятся с помощью медного, оптического кабелей или по беспроводным технологиям, таким как Mesh-сети, fiber aided wireless network architecture (FAWNA) и др.

2. Появление и развитие PON. LR-PON

Модернизация местных телекоммуникационных сетей и переход к сетям связи следующего поколения (Next Generation Network), изменяет подходы к построению современных сетей доступа. От СД по-прежнему требуется высокая надежность и низкая стоимость, но уже при более широкой пропускной способности и более высоком качестве передачи информации, к тому же эти требования уже предъявляются к технологически новым средам распространения сигналов (кабель с оптическими волокнами и радиоканал), что значительно влияет на принципы построения СД.

Происходит расширение границ СД, переход к новым структурам и изменение качества обслуживания различных видов информации (видео, голос, данные), так называемых услуг "triple-play services". Скорость передачи информации для обеспечения этих услуг должна достигать гигабит в секунду. Чтобы соответствовать возрастающим требованиям потребителей по увеличению полосы пропускания, предпочтение отдается оптическим сетям доступа (ОСД). FTTx – концепция технологий доступа, где в качестве "x" может выступать как дом, офис, кампус, так и любой промышленный объект.

На замену медным технологиям пришли пассивные оптические сети (PON – Passive Optical Networks), которые вместо использования соединения точка-точка (P2P) используют архитектуру точка-многоточка (P2MP). PON архитектура используется в следующих схемах и технологиях организации связи: Time Division Multiplexing (TDM), Wavelength Division Multiplexing (WDM), Optical Code Division Multiplexing (OCDM) и Sub-Carrier Multiplexing (SCM). [4]

PON начали появляться в конце прошлого века. В первом десятилетии XXI века уже широко использовались стандарты нового поколения PON – NGPON (Next Generation Passive Optical Networks) такие как Ethernet PON (EPON) и Gigabit PON (GPON). В них скорость передачи данных в нисходящем потоке достигает до 2,5 Gbps, а в восходящем до 1,25 Gbps. Масштабирование таких сетей производится с учетом максимальных длин распределительного и абонентского волокна до 20 км [5], [6].

Как правило, PON имеет топологию дерева с центром CO, расположенным в корне и абонентами, присоединенными к краевым вершинам дерева на расстоянии до 20 км. Корень дерева – это оптический линейный терминал (Optical Line Terminal) – OLT, который является оборудованием сервис-провайдера, расположенным совместно с CO. Сеть PON соединяет OLT с множеством оптических сетевых устройств (Optical Network Unit) ONU через 1:N (как правило 1:32) оптический сплиттер-сумматор.

Существуют схемы соединения пассивной оптической сети вида "PON-звезда", в которой "первая линейка" длин волн $\lambda 1$ ...λk применяется для взаимодействия с CO, а "вторая линейка" λk … λn – для взаимодействия абонентов сетевого сегмента между собой. Предполагается, что разветвитель передает во все каналы все длины волн с одинаковыми коэффициентами передачи, а выбор принимаемых каналов осуществляется оборудованием абонентов и АТС, причем в последнем случае поступающие λk … λn просто игнорируются [7].

Для OLT используются передатчики с непрерывным режимом работы, так же как и приёмники в ONU. Однако для восходящего потока необходим режим работы передатчиков только в определённое время. Следовательно, для ONU требуются передатчики с пакетным режимом работы. На приемной стороне в OLT также необходимы пакетные приёмники, причём, для того чтобы избежать коллизии трафика из-за разности расстояний OLT-ONU, необходима работа приёмников асинхронных пакетов с разными уровнями мощности.

Пакетный режим работы сетевых устройств характеризуется несколькими особенностями, которые необходимо учитывать:

• в отличие от стандартных лазерных драйверов, которые используют относительно медленный механизм управления, автоматическое управление питанием для драйверов лазера пакетного режима должно быть в состоянии обработать быстрые переходные процессы;

• у получателя пакетного режима должны быть высокая чувствительность, широкий динамический диапазон, и быстрое время обработки полученных пакетов [8].

На смену NGPON идут стандарты NGPON второго поколения, основной из которых – LR-PON (long-reach PON). Новейшие LR-PON могут иметь скорости нисходящего и восходящего потоков 10 Gbps и 2.5 Gbps соответственно. Масштабируемость сети достигает 100 км. Здесь может быть задействовано до 17 делителей мощности. Каждый из делителей работает с разными парами восходящих и нисходящих потоков, разделенных по длине волны и обслуживающих до 256 ONU. Всего к OLT может быть подключено до 4352 ONU. Сети LR-PON имеют топологию многоступенчатого дерева с множеством ветвей и позволяют обеспечивать интеграцию оптических сетей доступа и зоновых сетей. Расширенная функциональность LR-PON предлагает значительную экономию на издержках за счет сокращения числа требуемых преобразований оптический-электрический-оптический. Таким образом, тенденция развития PON ведет к изменению структуры городских сетей в сторону уменьшения количества узловых станций [9], [10].

С другой стороны, увеличение расстояния между узловыми устройствами в LR-PON приводит к ряду проблем, среди

которых можно отметить передачу сигнала, с возможным дрейфом длины волны в 20 нм. Эта величина считалась несущественной для традиционных PON, но для LR-PON требуется специальное решение, которое реализуется за счет использования более дорогих передатчиков (технология re?ective ONU – R-ONU).

Следующим вопросом, который следует учитывать при развёртывании LR-PON, является необходимость усиления сигнала при увеличении расстояния до узлов сети. Это сопровождается негативными явлениями, такими как амплитудная спонтанная эмиссия (ASE), которая является побочным продуктом работы эрбиевых оптических усилителей (EDFA). Для снижения эффекта ASE применяют двойное поэтапное промежуточное усиление, а так же управление коэффициентом усиления, в соответствии с конкретным расстоянием до узлового устройства.

При увеличении дальности передачи увеличивается задержка передачи данных по запросу от ONU. Нормы на задержку в сети доступа – приблизительно 1-2 миллисекунды для приложений в реальном времени. Чтобы задержка на передачу соответствовала нормам, разрабатываются алгоритмы динамического выделения пропускной способности. Топология "дерева", используемая в традиционных PON, может обладать надёжностью ниже требуемой. Для повышения надежности применяется топология "кольцо с ответвлениями", где все сплиттеры соединяются в кольцо и имеют ответвления к ONU [11], [12].

3. Надежность LR-PON

При увеличении дальности и пропускной способности сетей PON, к надёжности сети предъявляются всё более жёсткие требования. Для обеспечения коэффициента готовности, равного 0,99999, длительность простоя сети в течение года не должна превышать 5,3 минуты. Без улучшения характеристик надежности сети доступа выполнить это требование не представляется возможным [13].

Надежность является одной из важнейших характеристик качества объекта. Она объединяет свойства, определяющие пригодность его использования по назначению. Надёжность сети связи определяет устойчивость её функционирования.

Устойчивость сетей нарушается в результате воздействия разнообразных дестабилизирующих факторов , что требует разработки целого комплекса мероприятий по повышению надёжности сети [14].

В теории надёжности различают несколько атрибутов надёжности, таких как безотказность, ремонтопригодность, долговечность и сохраняемость. Показателями надёжности сети являются коэффициент готовности, интенсивность отказов, MTTF (Mean Time To Fault) – среднее время наработки на отказ и др. [15]. MTTF наряду с MTBF (Mean Time Between Failure) – средним временем между отказами и MTTR (Mean Time to Repair) – средним временем восстановления, широко используется для оценки надёжности технических систем [16].

При создании новых систем для обработки информации перед разработчиками стоят две основные задачи. Это обеспечение высокой производительности и надежности сети при минимальных затратах. Эти задачи противоречивы, и в каждом конкретном случае необходимо принимать компромиссное решение. Надёжность напрямую определяется количеством отказов, возникающих в системе. Предотвращение отказов реализуется путем повышения технологического уровня изготовления компонентов системы, минимизации ошибок разработчиков. Улучшению надёжностных характеристик отдельных подсистем способствует входной контроль, повышение степени интеграции элементов, эффективные методы рассеивания тепловой энергии [17].

Еще один способ повышения надёжности – создание отказоустойчивых систем. Здесь, при возникновении отказов используются эффективные методы устранения их последствий. Отказоустойчивость системы обеспечивается введением избыточности, т.е. созданием определенных запасов или резервов. В отказоустойчивых информационных системах может быть использована избыточность параметрическая, временная, алгоритмическая и структурная [18].

Для решения задач повышения надежности, т. е. сокращения частоты возникновения отказов и длительности простоев, с успехом могут применяться статистические методы повышения качества. В частности, с их помощью можно прояснить картину распределения простоев. Такого рода проблемы можно успешно решать с помощью диаграмм Парето [19], [20].

Другим статистическим методом оптимизации вероятности безотказной работы сети может служить метод Монте-Карло [21]. В [22] представлена реализация метода Монте-Карло при оптимизации сетей с коммутацией пакетов по надёжности и стоимости. Однако, результаты получаемые статистическими методами имеют низкую степень точности, и в сетях с повышенными требованиями к готовности должны подтверждаться другими методами.

Процессы, происходящие в телекоммуникационных сетях можно исследовать с использованием нескольких подходов. Сеть абонентского доступа представляется как система, т.е. совокупность независимых элементов и связей между ними. Рассмотрение характеристик системы, и прежде всего речь идет о надёжности, немыслимо без использования системного подхода. [23] Направление системной инженерии на сегодняшний день популярно и бурно развивается. Исследователи работают в этом направлении в рамках теории, так называемой системы систем – SoS [24]. В [25] авторами проведены исследования надёжности телекоммуникационной сети методами теории SoS, такими как HAZOP (hazard and operability analysis) – анализ опасностей и удобства использования, FTA (fault tree analysis) – анализ дерева отказов, и BN (Bayesian networks) – Байесовских сетей.

Для декомпозиции системы, которой в исследованиях выступает сеть абонентского доступа, практически повсеместно используются методы теории графов [5], [6], [26], [27]. Общепринято, что вершинами графа выступают узловые устройства сети, а ребрами – линейные сооружения. В [28] от теории графов, авторы переходят к исследованию сетей абонентского доступа с применением инструментов теории гиперграфов и гиперсетей.

Для моделирования функционирования сети связи в [29] была использована среда имитационного моделирования AnyLogic. При этом разработанная имитационная модель может быть использована для исследования влияния различных способов структурного резервирования и методов защиты от атак на комплексные показатели надежности функционирования сети связи, например на коэффициенты готовности Кг и простоя Кп.

В [30] и [31] проектирование надежных LR-PON производится методом смешанного целочисленного линейного программировании (MILP), а также эвристическими алгоритмами планирования. Модель планирования, основанная на MILP, в основном учитывает ограничения по стоимости и готовности и направлена на обеспечение максимально возможной зоны покрытия. К эвристи-

ческим методам относится метод в основу которого положено нахождение первого ONU с наиболее низким требованием к готовности (LOWLARF). При этом, на некоторой площади производится поиск мест расположения сначала OLT и оптического сплиттера, а затем ONU с параметрами надёжности, самыми низкими из разрешенных. После этого схема проверяется по стоимостным ограничениям. Действия повторяются до нахождения оптимальной схемы по стоимости и надёжности сети.

В рассмотренной группе методов исследуются три типа структур LR-PON, называемые как ТИП-А ТИП-Б, и ТИП-С. В случае ТИП-А защищается трафик между OLT и оптическим сплиттером путем развертывания резервных волокон между этими устройствами. ТИП-Б повторяет первую схему, и к тому же предусматривает резервирование OLT. В сетях ТИП-С дополнительно резервируются все линии между оптическим сплиттером и ONU, таким образом, происходит 100% резервирование всей сети.

В работе приведены численные результаты для рассматриваемых типов сетей, посредствам двух разных методов (MILP и LOWLARF). Авторы делают вывод, что политики, обеспечивающие более низкую готовность то есть, ТИП-А, и ТИП-В способны к покрытию больших расстояний ONU-OLT по сравнению с политикой ТИП-С.

В [32] были предложены способы повышения надежности PON, которые могут быть распространены и на сети дальнего действия LR-PON. Речь идет о сборе и накоплении информации об отказах. При этом разрабатывается система мониторинга PON на основе Smart Access Network Testing, Analyzing and Database (SANTAD) – так называемой интеллектуальной сети доступа с тестированием, анализом и базой данных. Ключевая идея состоит в том, чтобы накопить измерения с помощью контроллера оптического временного интервала (optical time domain reflectometer – OTDR), которые будут выведены на экран администратора, для централизованного контроля и детального анализа вероятности отказов в сети. При возникновении отказов, такая информация может оперативно направляться наладчикам. Система точно обнаруживает и определяет местоположение отказов оптического кабеля, и оповещает наладчиков о возникновении отказа в течение 30 секунд. При накоплении информации, база данных позволяет сетевым операторам оценивать долгосрочную производительность сети.

Другое направление обеспечения надёжности пассивных оптических сетей доступа основано на использовании новых сетевых устройств. В [33] рассматриваются сети с использованием решёток на основе массива волноводов (Arrayed-waveguide grating – AWG). Здесь используется меньше активных компонентов, что обеспечивает более быстрое развертывание, простоту конфигурирования, и снижение требований к обслуживанию. В чрезвычайных ситуациях сети AWG могут быть оптимальным решением, чтобы обеспечить защиту против более чем двух одновременных отказов. Архитектура сети в этом случае является двойным кольцом, где развертываются два независимых кольца с четырьмя AWG.

Вносимые потери в AWG около 4-5 дБ (независимо от количества каналов), и это гораздо меньше, чем у оптических кроссов. Однако у AWG есть и недостатки. Может происходить сдвиг центральной длины волны решётки в зависимости от изменения окружающей температуры на величину 0,01 nm/°C , что исключает использование AWG в области больших температурных изменений, где предельные значения могут колебаться с -40°C до + 85°C [34].

Вопросы, основанные на сетевой защите и восстановлении LR-PON, рассматриваются в [35]. Авторами экспериментально исследуется автоматическая схема защитного переключения, которая использует чувствительный модуль защиты. При возникновении отказов в сети, модуль защиты производит переключение трафика в пределах 12 мс для всех клиентов. Схемой предусмотрена дополнительная возможность, позволяющая переключать передатчик в пределах 2 мс с момента обнаружения отказа. Длины волн мультиплексируются в CO и передаются одновременно по двум фидерным волокнам к оборудованию OLT (мультиплексору WDM), реализуя, таким образом, 100%-резервирование линии.

При возникновении отказа в фидере, модуль защиты переключает трафик на резервный фидер, с сохранением работы всей сети. В [35] описан механизм обратной связи, который реализует оповещение об отказе, рассчитаны параметры сети доступа. Исследования WDM-PON приведены в [36]. Рассматривается WDM-PON с функциями защиты и локализации ошибок. Два фрагмента сети с точки зрения защиты, образуют кольцевую систему, в которой работоспособность возможна даже при возникновении нескольких отказов волоконных линий. Переключение происходит автоматически, не прерывая обслуживания клиентов. Обрыв волокна, локализация отказа и автоматическая защита с переключением на соседний ONU, в реальном времени исследованы экспериментально. Оптимизировано количество волокон, требуемых для защиты.

В [37] рассматривается два вида PON. PON с топологией кольца противопоставляется PON с древовидной топологией с использованием ХЭШ-функции (SHA). На кольцевой топологии предусмотрено два маршрута, переключение между которыми происходит при отказе одного из маршрутов. В PON с древовидной топологией доведение данных до пользователей основывается на агрегации данных. ХЭШ-функция решает вопросы аутентификации пользователей. Дано сравнение параметров надёжности для двух видов топологии. Представлены данные о времени, затраченном на восстановление после отказа, которые доказывают преимущество древовидной топологии.

В [38], [39] и др. ставятся вопросы об использовании совместно с волокном беспроводных сегментов передачи (Mesh-

Рис. 1. Направления исследований LR-PON, с позиций теории надёжности

сети, FAWNA – fiber aided wireless network architecture). В [38] описываются Mesh-сети, трафик в которых доводится по оптическому волокну до Mesh-портала, а затем передача реализуется по беспроводным технологиям. В [39] проводятся расчёты пропускной способности и приводится обоснование преимуществ смешанной архитектуры оптоволокно – беспроводные технологии. Затронутые в статье направления по оптимизации пассивный оптических сетей дальнего действия LR-PON, с точки зрения теории надежности, можно представить в виде схемы (рис. 1) [15].

4. Выводы

В статье представлен краткий обзор направлений исследования сетей абонентского доступа. Одной из успешно развивающихся разновидностей таких сетей можно считать сети LR-PON. Сети доступа в настоящее время широко изучаются с использованием различных методов в рамках множества научных теорий. Особое внимание исследователей направлено на оптимизацию сетей доступа, при этом, характерным является то, что исследователи обращают мало внимания на учет реальной топологии таких сетей. Как правило, рассматриваются базовые абстрактные топологии, без учета особенностей местности, на которой строится сеть. При исследовании сети доступа не учитываются условия сооружения линейных объектов связи. Представляется необходимой более детальная проработка вопроса оптимизации топологий LR-PON с учётом реальных условий прокладки волокна.

Литература

1. *Соколов Н.А.* Сети абонентского доступа. Принципы построения. – Пермь, "Энтер-профи", 1999. – 208 с.

2. *Ribes S.S., Garcia A.E.* State of the Art in Resource Management on Wired and Wireless Access Networks with Resilience. Universitat Politicnica de Catalunya, 2003. – 193 p.

3. *Vasseur J-P., Pickavet M., Demeester P.* Network Recovery: Protection and Restoration of Optical, SONET-SDH, IP, and MPLS. The Morgan Kaufmann Series in Networking, 2004. – 521 p.

4. Koudrin A. Network Reliability and Resiliency in Next Generation Networks at Physical, Datalink, and Network Layers. Victoria University of Wellington. 2007. http://homepages.mcs.vuw.ac.nz/~peterk/geii/alex-koudrin-thesis.pdf (дата обращения 12.11.2013).

5. *Никульский И.Е.* Оптические интерфейсы цифровых коммутационных станций и сети доступа. – М.: Техносфера, 2006. – 256с.

6. *Глущенко Д.В.* Пассивные оптические сети доступа: выбор очевиден // Веснік сувязі. – №4 (102), 2010. – С. 54-57.

7. *Shaw W.T., Wong S.W., Cheng N., Balasubramanian K., Zhu X., Maier M., Kazovsky L.G.* Hybrid Architecture and Integrated Routing in a Scalable Optical-Wireless Access Network // Journal Of Lightwave Technology. – Vol. 25. – No. 11, november 2007, pp. 3443-3451.

8. *Kazovsky L.G., Shaw W.-T., Gutierrez D., Cheng N., and Wong S.-W.* Next-Generation Optical Access Networks // Journal Of Lightwave Technology. – Vol. 25.– No. 11, November 2007, pp. 3428-3442.

9. *Ghazisaidi N., Scheutzow M., Maier M.* Survivability Analysis of Next-Generation Passive Optical Networks and Fiber-Wireless Access Networks // IEEE Transactions On Reliability, vol. 60, no. 2, june 2011, pp. 479-492.

10. Race for NGPON 2 heats up, Stephen Wilson/Informations Telecoms and Media, February 23, 2012, http://www.telecomasia.net (дата обращения 20.08.2013).

11. Song B.H. Long-Reach Passive Optical Networks. Dissertation Submitted in partial satisfaction of the requirement for the degree of doctor of philosophy. University Of California, Davis. 2009. – 109 p.

12. *Song B.H., Kim B.-W., Mukherjee B.* Long-Reach Optical Access Networks: A Survey of Research Challenges, Demonstrations, and Bandwidth Assignment Mechanisms // IEEE Communications Surveys & Tutorials. – Vol. 12. – No. 1. 2010, pp. 112-123.

13. *Егунов М.М., Шувалов В.П.* Анализ структурной надежности транспортной сети // Вестник СибГУТИ. – № 1, 2012. – С. 54-59.

14. ГОСТ Р 53111- 2008. Устойчивость функционирования сети связи общего пользования. Требования и методы проверки.

15. *Громов Ю.Ю., Иванова О.Г., Мосягина Н .Г., Набатов К.А.* Надёжность информационных систем: учебное пособие. – Тамбов: Изд-во ГОУ ВПО ТГТУ, 2010. – 160 с. ISBN 978-5-8265-0911-1.

16. *Торелл В., Авеляр В.* Среднее время между отказами: описание и стандарты // APC, Legendary Reliability. – №78, 2004. – 13 с.

17. *Егунов М.М., Шувалов В.П.* Резервирование и восстановление в телекоммуникационных сетях // Вестник СибГУТИ. – №2, 2012. – С. 3-9.

18. *Яковлев А.В.* Надежность информационных систем. Лекционный материал. – Муром, 2004. – 63 с.

19. *Нетес В.А.* Применение анализа Парето для повышения надежности. Quality.eup.ru. (дата обращения 21.09.2013).

20. *Королёв В.А.* О природе принципа Парето. Quality.eup.ru (дата обращения 22.09.2013).

21. *Соболь И.М.* Метод Монте-Карло. "Популярные лекции по математике", вып. 46. – М.: Наука, 1968. – 64 с.

22. *Алигулиев Э.А.* Оптимизация вероятности безотказной работы сети с использованием статистических испытаний по методу Монте-Карло // E-journal Reliability: Theory& Applications, №1 (Vol.2) March 2007, – pp. 88-90.

23. *Юдин Э.Г.* Системный подход и принцип деятельности. Методологические проблемы современной науки. АН СССР. Институт истории естествознания и техники. – М.: Наука, 1978. – 378 с.

24. *Levenchuk A.* О системах систем и их моделировании. http://ailev.livejournal.com/991792.html (дата обращения 01.02.2014).

25. Tsilipanos K., Neokosmidis I., Varoutas D. A System of Systems Framework for the Reliability Assessment of Telecommunications Networks // IEEE Systems Journal. – Vol. 7. – No. 1, march 2013, pp. 114-124.

26. *Рояк М.Э., Рояк С.Х.* Теория графов. Методические указания к практическим занятиям и выполнению РГР по курсу "Дискретная математика" ЧАСТЬ 2. НГТУ. Новосибирск, 1998. – 38 с.

27. *Никульский И.Е.* Модели и методы построения широкополосных оптических сетей доступа: диссертация ... доктора технических наук: 05.12.13 / Никульский Игорь Евгеньевич; [Место защиты: ГОУВПО "Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций"]. - Санкт-Петербург, 2011. – 279 с.

28. *Попков В.К. Попков Г.В. Величко В.В.* Математические основы моделирования сетей связи. – М.: "Горячая линия-Телеком", 2012. – 183 с. ISBN: 978-5-9912-0266-7.

29. *Закиров В.И., Золотухин В.В.* Исследование надежности беспроводных сетей связи методом имитационного моделирования в среде AnyLogic // Имитационное моделирование. Теория и практика: Сборник докладов пятой юбилейной всероссийской научно-практической конференции ИММОД-2011. Том 1. – СПб.: ОАО "ЦТСС". 2011. – С. 365-369.

30. *Kantarci B., Mouftah H.T.* Availability and Cost-Constrained Long-Reach Passive Optical Network Planning // IEEE Transactions on Reliability. – Vol. 61. – No. 1, march 2012, pp. 113-124.

31. *Kantarci B. and Mouftah H.T.* Availability and Cost Constrained Fast Planning of Passive Optical Networks under Various Survivability Policies // 35th Annual IEEE Conference on Local Computer Networks LCN. Denver, Colorado, 2010, pp. 113-124.

32. *Boonchuan Ng, M. Syuhaimi Ab-Rahman. K. Jumari.* Graphical User Interface for PON Network Management System // Universiti Kebangsaan Malaysia (UKM) Malaysia. InTech. May 2010, pp. 81-105.

33. Simmons J.M. Survivable Passive Optical Networks Based on Arrayed-Waveguide-Grating Architectures // Journal Of Lightwave Technology. – Vol. 25. – No. 12, December 2007, pp. 3658-3668.

34. *Попович Ж.* Следующее поколение пассивных оптических сетей // АО Эрикссон Никола Тесла, г. Загреб, Хорватия, Revija BR. I, 2010. – с. II/22-II/40.

35. *Wong E., Lee K.-L.* Automatic protection, restoration, and survivability of long-reach passive optical networks // IEEE ICC 2011, pp. 305-310.

36. *Cheng X., Wen Y.J., Xu Z., Wang Y., Yeo Y.-K.* Survivable WDM-PON with self-protection and in-service fault localization capabilities // Optics Communications. – Vol. 281. – No. 18, June 2008, pp. 4606-4611.

37. *Malhotra R., ManindarPal Dr.* Performance analysis in Passive Optical Networks (PONs) // International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering. – Vol. 1, Issue 4, June 2012, pp. 263-267. ISSN: 2278-1021.

38. *Вишневский В., Лаконцев Д., Сафонов А., Шпилев С.* Mesh-сети стандарта IEEE 802.11s – технологии и реализация // Первая миля 2-3/2008. – С. 26-31.

39. *Ray S., Miedard M., Zheng L.* Fiber Aided Wireless Network Architecture. / IEEE Journal on selected areas in Communications. – Vol. 29. – No. 6, june 2011, pp. 1284-1294.

THE RELIABILITY OF SUBSCRIBER ACCESS NETWORKS LR-PON

Ignatov A.V., *Novosibirsk, Russia,* ***igsascha@mail.ru;*** **Shuvalov V.P.,** *Novosibirsk, Russia,* ***shvp04@mail.ru***

Abstract. The basic principles of construction of the modern subscriber access network are considered. The description of optical networks PON and LR-PON as the further development of PON are given. The analysis of approaches to ensuring reliability of passive optical long-range networks was conducted (LR-PON). A classification of research directions of LR-PON reliability is given. The conclusions were made about the advisability of further work on the research issues of indicators of LR-PON reliability.

Keywords: *subscriber access network, Next Generation Network, LR-PON, reliability, optimization access networks.*

References

1. *Sokolov N.A.* Principles of construction. Subscriber access network. Perm. Enter-pro. 1999. 208 p. (*in Russian*).
2. *Ribes S.S., Garcia A.*E. State of the Art in Resource Management on Wired and Wireless Access Networks with Resilience. Universitat Politecnica de Catalunya, 2003. 193 p.
3. *Vasseur J-P., Pickavet M., Demeester P.* Network Recovery: Protection and Restoration of Optical, SONET-SDH, IP, and MPLS. The Morgan Kaufmann Series in Networking, 2004. 521 p.
4. *Koudrin A.* Network Reliability and Resiliency in Next Generation Networks at Physical, Datalink, and Network Layers. Victoria University of Wellington. 2007. http://homepages.mcs.vuw.ac.nz/~peterk/geii/alex-koudrin-thesis.pdf (date of application 12.11.2013).
5. *Nikulsky I.E.* Optical interfaces of digital switching stations and network access. Moskow. Technosphere. 2006. 256 p. (*in Russian*).
6. *Gluschenko D.V.* Passive optical access networks: the choice is obvious. Herald of communications. No.4 (102). 2010, pp. 54-57. (*in Russian*).
7. *Shaw W.T., Wong S.W., Cheng N., Balasubramanian K., Zhu X., Maier M., Kazovsky L.G.* Hybrid Architecture and Integrated Routing in a Scalable Optical-Wireless Access Network. Journal Of Lightwave Technology. Vol. 25. No. 11, november 2007, pp. 3443-3451.
8. *Kazovsky L.G., Shaw W.-T., Gutierrez D., Cheng N., and Wong S.-W.* Next-Generation Optical Access Networks. Journal Of Lightwave Technology. Vol. 25. No. 11, November 2007, pp. 3428-3442.
9. *Ghazisaidi N., Scheutzow M., Maier M.* Survivability Analysis of Next-Generation Passive Optical Networks and Fiber-Wireless Access Networks. IEEE Transactions On Reliability. Vol. 60. No. 2, june 2011, pp. 479-492.
10. "Race for NGPON 2 heats up", Stephen Wilson/Informations Telecoms and Media, February 23, 2012, http://www.telecomasia.net (application 20.08.2013).
11. *Song B.H.* Long-Reach Passive Optical Networks. Dissertation Submitted in partial satisfaction of the requirement for the degree of doctor of philosophy. University Of California, Davis. 2009, 109 p.
12. *Song B.H., Kim B.-W., Mukherjee B.* Long-Reach Optical Access Networks: A Survey of Research Challenges, Demonstrations, and Bandwidth Assignment Mechanisms. IEEE Communications Surveys & Tutorials. Vol. 12. No. 1. 2010, pp. 112-123.
13. *Yegunov M.M., Shuvalov V.P.* Analysis of structural reliability of the transport network. Herald of SibGUTI. No. 1. 2012. pp. 54-59. (*in Russian*).
14. GOST R 53111- 2008. Sustainability of the public communication network. Requirements and test methods. (*in Russian*).
15. *Gromov Y.Y., Ivanova O.G., Mosyagina N.G., Nabatov K.A.* Reliability of information systems: a tutorial. Tambov. Publisher GOU VPO TGTU. 2010. 160 p. ISBN 978-5-8265-0911-1 (*in Russian*).
16. *Thorell B., Avelyar B.* Mean Time Between Failure: Explanation and Standards. APC, Legendary Reliability, Informative article No.78. 2004, p.13. (*in Russian*).
17. *Yegunov M.M., Shuvalov V.P.* Backing up and restoring in telecommunication networks. Herald of SibGUTI. No. 2. 2012, pp. 3-9. (*in Russian*).
18. *Yakovlev A.V.* Reliability of information systems. Lecture material. Murom. 2004, p.63. (*in Russian*).
19. *Netes V.A.* Application of Pareto analysis to improve reliability. Quality.eup.ru. (date of application 21.09.2013). (*in Russian*).
20. *Korolev V.A.* About the nature of the Pareto principle. Quality.eup.ru. (date of application 22.09.2013). (*in Russian*).
21. *Sobol I.M.* Monte-Carlo's method. "Popular lectures on mathematics", edition 46. Moscow. Nauka. 1968, p. 64. (*in Russian*).
22. *Aliguliyev E.A.* Optimization probability of Network Uptime through the use of statistical tests on the Monte Carlo's method. E-journal Reliability: Theory& Applications. No.1 (Vol.2) March 2007, pp. 88-90. (*in Russian*).
23. *Yudin E.G.* Systematic approach and the principle of activity. Methodological problems of modern science. USSR Academy of Sciences. Institute for the History of Science and Technology. Moscow. Nauka. 1978. 378 p. (*in Russian*).
24. *Levenchuk A.* On systems of systems and their modeling. http://ailev.livejournal.com/991792.html (date of application 01.02.2014).
25. *Tsilipanos K. Neokosmidis I., Varoutas D.* A System of Systems Framework for the Reliability Assessment of Telecommunications Networks. IEEE Systems Journal, Vol. 7. No. 1, march 2013. pp. 114-124.
26. *Royak M.E.* Graph theory. Methodical instructions for practical exercises and implementation of RGR course "Discrete Mathematics" Part 2, NGTU. Novosibirsk. 1998. 38 p. (*in Russian*).
27. *Nikulsky I.E.* Models and methods of construction of broadband optical access networks: the dissertation…Dr.Sci.Tech 05.12.13 / Nikylsky Igor; a guard Place: Saint-Petersburg State University of Telecommunications). St. Peterburg, 2011. 279 p. (*in Russian*).
28. *Popkov V.K., Popkov G.V., Velichko V.V.* Mathematical bases of modeling communications networks. Moscow. Hotline - Telecom. 2012. 183 p. ISBN:978-5-9912-0266-7(*in Russian*).
29. *Zakirov V.I., Zolotukhin V.V.* Research on reliability of wireless communications networks by simulation in the environment AnyLogic. Simulation. Theory and practice: Proceedings of the fifth anniversary all-Russian scientific-practical conference IMMOD 2011. Vol. 1. SPb. SSTC. 2011, pp. 365-369. (*in Russian*).
30. *Kantarci B., Mouftah H.T.* Availability and Cost-Constrained Long-Reach Passive Optical Network Planning. IEEE Transactions on Reliability. Vol. 61. No. 1, march 2012, pp. 113-124.
31. *Kantarci B. and Mouftah H.T.* Availability and Cost Constrained Fast Planning of Passive Optical Networks under Various Survivability Policies. 35th Annual IEEE Conference on Local Computer Networks LCN. Denver, Colorado. 2010, pp. 113-124.
32. *Boonchuan Ng, M. Syuhaimi Ab-Rahman. K. Jumari.* Graphical User Interface for PON Network Management System. Universiti Kebangsaan Malaysia (UKM) Malaysia. InTech. May 2010, pp. 81-105.
33. *Simmons J.M.* Survivable Passive Optical Networks Based on Arrayed-Waveguide-Grating Architectures. Journal Of Lightwave Technology. Vol. 25. No. 12, December 2007, pp. 3658-3668.
34. *Popovic J.* The next generation of passive optical networks. JSC Ericsson Nikola Tesla, Zagreb, Croatia, Revija BR.1, 2010, pp. II/22 - II/40. (*in Russian*).
35. *Wong E., Lee K.-L.* Automatic protection, restoration, and survivability of long-reach passive optical networks. IEEE ICC 2011, pp. 305-310.
36. *Cheng X., Wen Y.J., Xu Z., Wang Y., YeoY.-K.* Survivable WDM-PON with self-protection and in-service fault localization capabilities. Optics Communications. Vol. 281. No. 18, June 2008, pp. 4606-4611.
37. *Malhotra R.,ManindarPal. Dr.* Performance analysis in Passive Optical Networks (PONs). International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering. Vol. 1, Issue 4, June 2012, pp. 263-267. ISSN: 2278-1021.
38. *Vishnevsky V., Lakontsev D., Safronov A., Shpilev S.* Mesh-standard network. The first mile 2-3/2008, pp. 26-31. (*in Russian*).
39. *Ray S., Miedard M., Zheng L.* Fiber Aided Wireless Network Architecture. IEEE Journal on selected areas in Communications. Vol. 29. No. 6, june 2011, pp. 1284-1294.

АНАЛИЗ СТАТИСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ИНТЕРНЕТ-ТРАФИКА В МАГИСТРАЛЬНОМ КАНАЛЕ

Симаков Денис Вячеславович,
аспирант Сибирского Федерального Университета,
Россия, Красноярск,
dden.simakov@gmail.com

Кучин Алексей Андреевич,
аспирант Сибирского Федерального Университета,
Россия, Красноярск,
alex6151@mail.ru

Ключевые слова: *QoS, траффик, нагрузка, самоподобие, коэффициент Херста, Интернет, распределение с "тяжелым хвостом".*

Описывается исследование статистических характеристик Интернет-трафика в магистральном канале и приводятся результаты исследования. Исследуемым объектом является публично доступная в сети Интернет реализация трафика магистрального Интернет-канала. Целью исследования является получение информации о статистических характеристиках Интернет-трафика, необходимой для проектирования и оптимизации сети, а также совершенствования технологий обеспечения качества обслуживания (QoS – Quality of Service). В результате исследования были получены графики временных реализаций трафика и плотностей вероятности распределения интенсивности передаваемого трафика для трех значений времени агрегирования. Кроме того, получены оценки коэффициента Херста для трех временных реализаций трафика (с разным временем агрегирования) несколькими методами, графики распределения интервалов времени между пакетами, размеров пакетов и количества переданными ими информации. Сделаны выводы о высокой степени самоподобия и дисперсии интенсивности трафика, присутствии большого количества пакетов малого размера, что приводит к значительному повышению нагрузки, ухудшению показателей QoS, и, следовательно, должно учитываться при решении многих практических задач. Также сделан вывод о высокой сложности (или даже невозможности) разработки универсальной аналитической модели трафика, учитывающей непостоянство в его составе долей разных типов трафика, влияющих на его статистические характеристики. Предложена гипотеза о перспективности использования в этих условиях контроллеров нечеткой логики для решения задач, связанных с повышением эффективности использования сети.

Для цитирования:
Симаков Д.В., Кучин А.А. Анализ статистических характеристик Интернет-трафика в магистральном канале // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2015. – Том 9. – №5. – С. 31-35.

For citation:
Simakov D.V., Kuchin A.V. Analysis of statistical characteristics of the internet-traffic in a backbone link. T-Comm. 2015. Vol 9. No.5, pp. 31-35. (*in Russian*).

К современным мультисервисным транспортным сетям, через которые передается большое количество различных потоков трафика, предъявляется требование обеспечения качества обслуживания (QoS – Quality of Service) при передаче данных потоков, в соответствии с их потребностями (задержка, «джиттер», полоса пропускания, надежность каналов). Для соответствия этому требованию разработаны и продолжают разрабатываться и модернизироваться алгоритмы [1] эффективного управления потоками трафика (например, QoS-маршрутизация, алгоритмы управления окном перегрузки TCP-соединения и др.), управления очередями и планирования обслуживания пакетов в буферах интерфейсов (например, RED, WFQ), ограничения интенсивности потока и многие другие. Однако, в основном, все эти алгоритмы получены эвристическим путем, и не имеют математического обоснования своей эффективности, учитывающего статистические характеристики трафика. Кроме того, эти характеристики необходимы для эффективного планирования требуемой полосы пропускания каналов передачи и мощности коммутационных устройств в сети, как это было для сетей с коммутацией каналов. Следовательно, задача проведения исследования статистических характеристик трафика является актуальной, а результаты исследования должны быть опорной базой для решения проблем, связанных с обеспечением QoS.

В качестве исследуемого объекта была взята реализация трафика из источника [2], где ежедневно в открытый доступ выкладывается файл собранной с магистрального канала 15 минутной реализации трафика. Из всех доступных файлов случайным образом был выбран файл датируемый 31 марта 2014 г. С помощью программы Wireshark [3] из данной реализации были выбраны пакеты с одинаковым MAC-адресом источника, чтобы оставить лишь пакеты движущиеся в одном направлении. При этом количество оставшихся пакетов составило приблизительно 45 миллионов. Полученный таким образом однонаправленный поток был подвергнут анализу.

В первую очередь поток трафика был приведен к эквидистантному временному ряду, то есть весь временной интервал был разделен на равные интервалы, и каждому такому промежутку времени была сопоставлена интенсивность потока трафика (в Мбит/с). На рисунке 1 представлены графики профиля сетевого трафика при трех значениях размера интервала времени усреднения (1 мс, 10 мс и 100 мс). Как видно из этих графиков, интенсивность трафика изменяется скачкообразно, то есть, как принято говорить [4], трафик является «пачечным».

Это означает, что в однонаправленном Ethernet–канале несколько подряд переданных пакетов сменяются сравнительно длительными интервалами «тишины», и наоборот. На рисунке 2 изображены графики плотностей распределения вероятности (ПРВ) величины интенсивности трафика для трех интервалов времени усреднения. К сожалению, полученные распределения не удалось аппроксимировать каким–либо из известных ранее. Однако, можно и важно отметить тот факт, что при малой величине окна усреднения, распределения обладают так называемым «тяжелым хвостом» [4, 5], что означает спадание «хвоста» распределения не по экспоненциальному, а по степенному закону, то есть его медленное убывание. С практической же точки зрения это означает, что при проектировании сети, в частности при расчете нагрузки, необходимо учитывать «экстремальные» значения интенсивности трафика, которые в Ethernet-сети, в отличии от сетей с коммутацией каналов, не могут рассматриваться как слишком маловероятные.

С другой стороны, это также означает большую дисперсию интенсивности трафика, что может сопровождаться скачкообразным и нелинейным характером изменения размеров очередей в буферах коммутационных устройств сети. Данный эффект способен негативно влиять на производительность сети, например, приводя к кратковременным перегрузкам и необоснованному сбросу пакетов устройствами, неэффективности алгоритмов traffic policing, traffic shaping и RED [1], а также увеличивая «джиттер» и, таким образом, оказывая негативное влияние на качество передачи трафика реального времени, работу протоколов сетевой синхронизации времени (например, NTP) и др.

Анализируя графики, приведенные на рисунке 1, можно также заметить, что, несмотря на многократное отличие в размере окна усреднения, все они содержат резкие «всплески» и «провалы». Этот факт, а также факт наличия «тяжелого хвоста» распределения, являются косвенными признаками статистического самоподобия [4, 5] интенсивности сетевого трафика. Самоподобные процессы иначе называются процессами с долговременной или медленно убывающей зависимостью (МУЗ).

Фактически МУЗ означает, что если количество поступающих пакетов за некоторую единицу времени начало уменьшаться или увеличиваться, то и далее, на протяжении некоторого промежутка времени, эта тенденция будет сохраняться с большей долей вероятности, чем обратная. И чем дольше эта тенденция длится, тем меньше вероятность ее дальнейшего сохранения. Количественную оценку степени такой зависимости дает показатель Херста H, который для случая МУЗ находится на интервале: $0{,}5 > H > 1$. Трафик с МУЗ называется персистентным. Если $0 > H > 0{,}5$, то случайная величина называется антиперсистентной, ее увеличение резко сменяется уменьшением, и наоборот. В случае $H = 0{,}5$ процесс является действительно случайным, не имеющим последействия. Наличие в характере изменения трафика МУЗ представляет определенный интерес, поскольку теоретически позволяет с некоторой долей вероятности предсказывать изменение интенсивности трафика на некоторое время вперед [6].

В таблице 1 представлены результаты оценки коэффициента Херста разными методами [5], а также дисперсия, стандартное отклонение и математическое ожидание для профилей интенсивности трафика с тремя значениями окна усреднения. Полученные оценки коэффициента Херста говорят о наличии высокой степени МУЗ. Следует отметить, что наиболее точным из всех использованных методов является метод периодограмм. Остальные три метода имеют большую погрешность оценки и могут быть использованы лишь для получения информации о том, является ли временной ряд самоподобным, или нет.

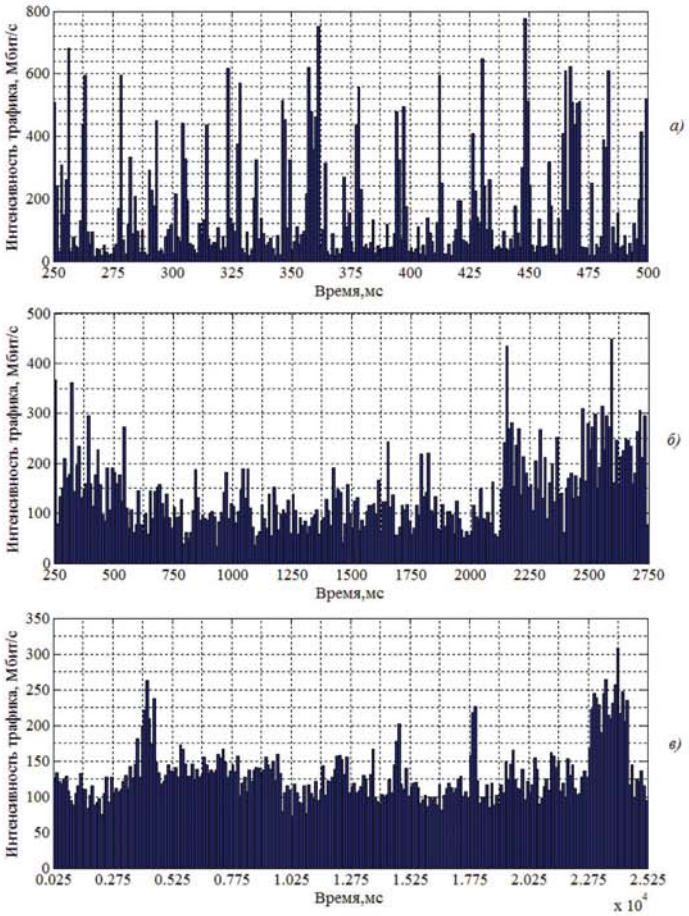

Рис. 1. Профиль сетевого трафика при трех интервалах усреднения: *а)* 1 мс; *б)* 10 мс; *в)* 100 мс

Еще одной известной из теории телетрафика [7] характеристикой потока вызовов (в терминах пакетной сети – пакетов) является распределение длины промежутков времени между двумя последовательно поступающими пакетами. На рис. 3 приведена ПРВ данной характеристики.

Таблица 1

Время усреднения, мс	Мат. ожидание, Мбит/с	Ст. откл., Мбит/с	Оценка коэффициента Херста			
			Метод *R/S* – статистики	Метод изменения дисперсии	Метод периодограмм	Метод абсолютных значений
1	159,5	157,3	0,91	0,71	0,70	0,83
10	159,5	85,1	0,88	0,79	0,72	0,88
100	159,5	49,8	0,80	1,04	0,96	0,84

На рисунке 4 показана гистограмма ПРВ размеров переданных пакетов. Как видно, большую долю имеют пакеты размером до 100 байт, в число которых могут входить служебные пакеты многих протоколов, ICMP–трафик, DNS–трафик, трафик протоколов реального времени, ACK–пакеты протокола TCP и др. Значительную долю имеют также пакеты размеров от 1400 до 1600 байт, которые, в основном, генерируются при передаче данных по протоколам HTTP, FTP, и другим, которые работают поверх TCP, а также могут быть сгенерированы и протоколами OSPF, IS-IS, uTorrent Transport Protocol (uTP) [8] и др. Для большей наглядности на рис. 5 показана также процентная доля переданных данных для тех же диапазонов размеров пакетов.

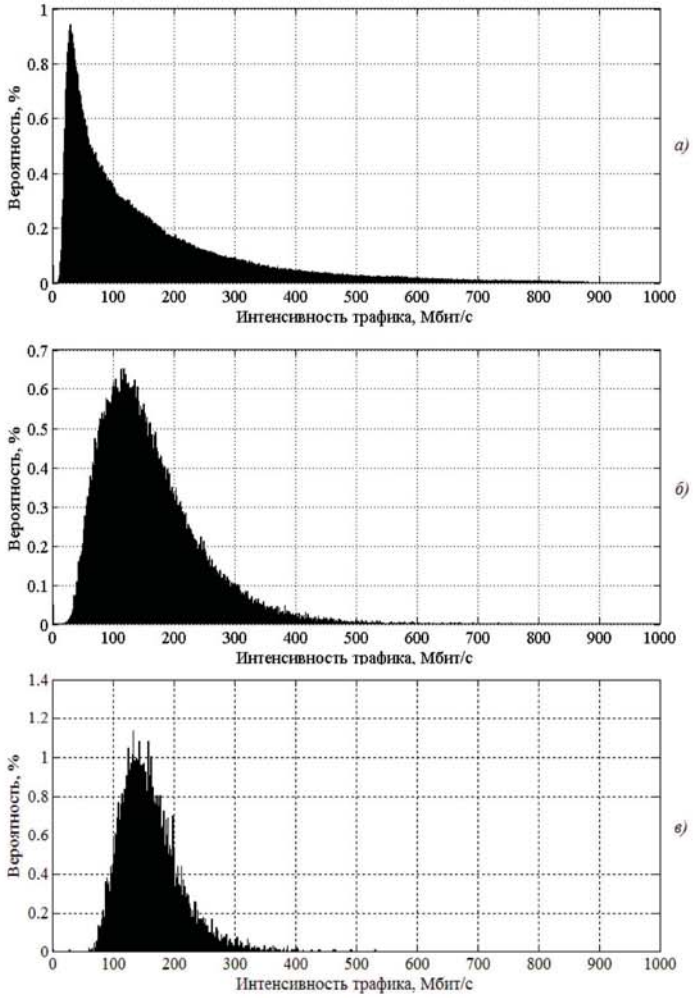

Рис. 2. ПРВ интенсивности сетевого трафика для трех значений интервала усреднения: *а)* 1 мс; *б)* 10 мс; *в)* 100 мс

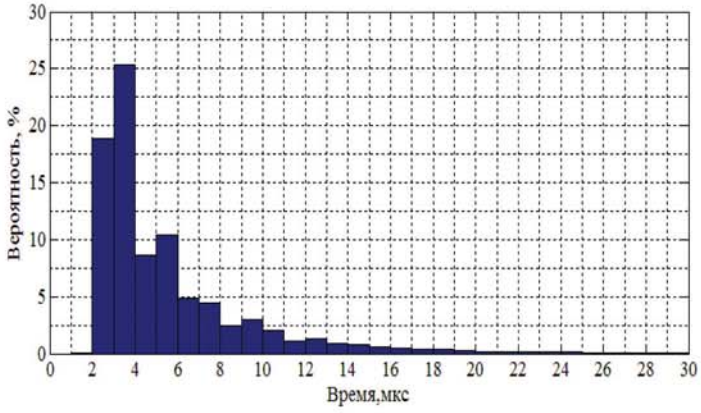

Рис. 3. ПРВ интервалов времени между пакетами

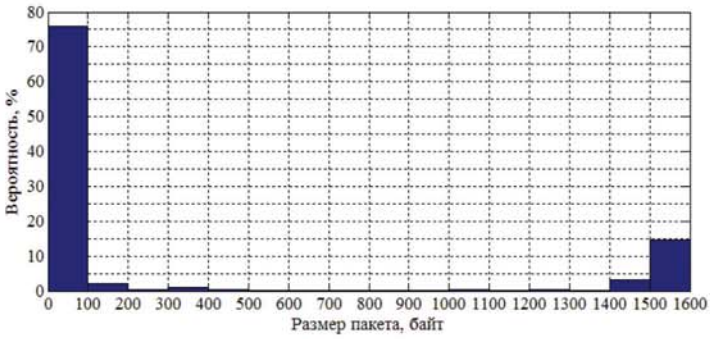

Рис. 4. ПРВ размеров переданных пакетов

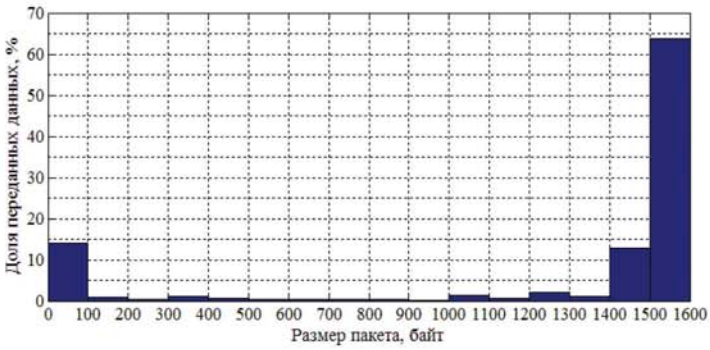

Рис. 5. Доля переданных данных пакетами разного размера

Заключение

Агрегированный трафик магистрального канала сети, вопреки ожиданиям усреднения и сглаживания за счет суммирования большого количества потоков, обладает высокой дисперсией, степенью самоподобия и характеризуется распределением интенсивности обладающим «тяжелым хвостом». Предположительно, с возрастанием интенсивности трафика, спад «хвоста» его распределения будет становиться более пологим, и соответственно, будет возрастать дисперсия. В противоположность этому, с возрастанием интенсивности, спад «хвоста» распределения интервалов времени между двумя последовательно переданными пакетами будет становиться более крутым.

Большая дисперсия интенсивности передаваемого трафика должна приводить к большой дисперсии размеров очередей в буферах интерфейсов, и, как следствие, большому «джиттеру». Высокое значение «джиттера» приводит не только к ухудшения показателей QoS, но и к трудностям при создании алгоритмов QoS-маршрутизации [1], в которых концептуально принято при вычислении метрики помимо полосы пропускания и других параметров каналов учитывать еще и задержку.

Большое количество пакетов малого размера приводит не только к неэффективности использования полосы пропускания технологии канального уровня за счет внесения больших издержек на передачу служебной информации в заголовках пакетов, но и к высокой загрузке коммутационных устройств, которые просматривают заголовки каждого пакета и принимают решение о его дальнейшей судьбе.

Кроме того, предположительно, степень самоподобия, дисперсия и распределение размеров пакетов будут меняться в зависимости от состава передаваемого трафика. Под составом понимается доля TCP и UDP-пакетов. Протокол TCP отправляет «пачку» данных, не превышающую минимального из двух значений размера окна перегрузки, либо окна приемника, а затем ожидает прихода подтверждения их успешной доставки, после чего процедура повторяется, с некоторыми возможными корректировками [1]. С другой стороны, сервисы «реального времени», использующие UDP, требуют минимального значения «джиттера», а потому передают свои данные равными частями с почти постоянной скоростью.

Учитывая, что в исследованной реализации трафика, доля TCP составляла приблизительно 73%, а доля UDP – около 10%, можно сделать предположение, что это и является основной причиной высокой степени «пачечности» трафика. Однако, количество сервисов «реального времени» и их популярность непрерывно растут, что приводит к увеличению доли UDP-трафика. Кроме того, в связи с повышением надежности каналов, оборудования, и, следовательно, сети Интернет в целом, появился протокол обмена данными в пиринговых сетях uTP [8], использующий UDP, взамен TCP, для повышения производительности сети.

Данные факты необходимо учитывать при решении многих задач: проектировании сети, мониторинге нагрузки, разработке алгоритмов передачи данных, маршрутизации и управления очередями. Отсутствие универсальных аналитических моделей статистических характеристик трафика, в следствии большой сложности (или даже невозможности) их получения, наводит на мысль о перспективности использования контроллеров нечеткой логики (fuzzy logic) [9] для решения этих задач.

Литература

1. *Кучерявый Е.А.* Управление трафиком и качество обслуживания в сети Интернет. – СПб.: Наука и техника, 2004. – 336 с.
2. MAWI Working Group Traffic Archive. URL: http://mawi.wide.ad.jp/mawi/ (дата обращения: 21.05.2014).
3. Wireshark. URL: http://www.wireshark.org/ (дата обращения: 21.05.2014).
4. *Столлингс В.* Современные компьютерные сети. 2–е изд. – СПб.: Питер, 2003. – 783 с.
5. *Осин А.В., Смольский С.М., Шелухин О.И.* Самоподобие и фракталы. Телекоммуникационные приложения. – М.: Физматлит, 2008. – 368 с.
6. *Петров В.В.* Структура телетрафика и алгоритм обеспечения качества обслуживания при влиянии эффекта самоподобия: диссертация кандидата технических наук. Московский энергетический институт. – Москва, 2004.
7. *Корнышев Ю.Н., Пшеничников А.П., Харкевич А.Д.* Теория телетрафика. – М: Радио и связь, 1996. – 272 с.
8. uTorrent Transport Protocol. URL: http://www.bittorrent.org/beps/bep_0029.html (дата обращения: 21.05.2014).
9. *Круглов В.В., Дли М.И., Голунов Р.Ю.* Нечеткая логика и искусственные нейронные сети. – М.: Физматлит, 2001. – 224 с.

ANALYSIS OF STATISTICAL CHARACTERISTICS OF THE INTERNET-TRAFFIC IN A BACKBONE LINK

Simakov D.V., *Krasnoyarsk, Russia,* ***dden.simakov@gmail.com***
Kuchin A.V., *Krasnoyarsk, Russia,* ***alex6151@mail.ru***

Abstract
This paper describes a research of statistical characteristics of Internet-traffic in a backbone link and its results. An object of the research is a publicly available on the Internet traffic dump. A goal of the research is getting information about statistical characteristics of the Internet-traffic, required for problems of network design, optimization and improving QoS-technologies. Results of the research are plots of traffic time series and power distribution functions of traffic intensity, packet size and delay between packets. Furthermore, Hurst parameter estimations are obtained by four methods. Conclusions were made about high degree of traffic self-similarity, high mean of traffic intensity dispersion and presence of a large number of small packets, which increase load and lead to QoS degradation, hence it should be taken into account when solving many problems. Also conclusion was made about high complexity (or maybe just impossibility) of developing of universal analytical traffic model, that will take into account traffic composition variability, impacting its statistical characteristics. Proposed hypothesis about prospects of using fuzzy logic controllers for solving problems of improving network using efficiency.

Keywords: *QoS, traffic, network load, self-similarity, Hurst parameter, Internet, heavy tailed distributions.*

References

1. *Kucheryavy E.A.* Traffic management and quality of service in the Internet. St. Petersburg, 2004. 336 p. (*in Russian*).
2. MAWI Working Group Traffic Archive, viewed 21 May 2014, http://mawi.wide.ad.jp/mawi
3. Wireshark, viewed 21 May 2014, http://www.wireshark.org.
4. *Stallings W.* Modern computer networks, 2 ed. St. Petersburg, 2003. 783 p. (*in Russian*).
5. *Osin A.V., Smolsky S.M., Sheluhin O.I.* Self-similarity and fractals. Telecommunication applications. Moscow, 2008. 368 p. (*in Russian*).
6. *Petrov V.V.* Teletraffic structure and QoS-providing algorithm under the influence of self-similarity effect: PhD dissertation. Moscow, 2004. (*in Russian*).
7. *Kornishev Y.N., Pshenichnikov A.P., Harkevich A.D.* Teletraffic theory. Moscow, 1996. 272 p. (*in Russian*).
8. uTorrent Transport Protocol, viewed 21 May 2014, http://www.bittorrent.org/beps/bep_0029.html (*in Russian*).
9. *Kruglov V.V., Dli M.I., Golunov R.Y.* Fuzzy logic and artificial neural networks. Moscow, 2001. 224 p. (*in Russian*).

Information about authors:
Simakov D.V., Postgraduate student of Siberian Federal University, Russia, Krasnoyarsk;
Kuchin A.V., Postgraduate student of Siberian Federal University, Russia, Krasnoyarsk.

For citation:
Simakov D.V., Kuchin A.V. Analysis of statistical characteristics of the internet-traffic in a backbone link. T-Comm. 2015. Vol 9. No.5, pp. 31-35. (*in Russian*).

АНАЛИЗ ФИЗИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ МЕТАМАТЕРИАЛОВ И ЧАСТОТНО-СЕЛЕКТИВНЫХ СВЧ-УСТРОЙСТВ НА ИХ ОСНОВЕ

Кухаренко Александр Сергеевич,
к.т.н., с.н.с, Филиал открытого акционерного общества "Объединенная ракетно-космическая корпорация" "Научно-исследовательский институт космического приборостроения", Москва, Россия, ***alexk.05@mail.ru***

Елизаров Андрей Альбертович,
д.т.н., профессор, Национальный исследовательский университет "Высшая школа экономики", Москва, Россия,
a.yelizarov@hse.ru

Ключевые слова: *метаматериал, расширение полосы, полосно-запирающие структуры, частотно-селективные устройства, грибовидные структуры.*

Одним из перспективных путей развития современной электродинамики и электроники СВЧ является исследование метаматериалов, представляющих собой композитные соединения, свойства которых обусловлены искусственно созданной периодической системой из макроскопических элементов. Однако эти структуры обладают общим недостатком – узкой рабочей полосой, что объясняется их резонансными свойствами. Проведен анализ физических особенностей метаматериалов и конструкций частотно-селективных СВЧ-устройств, выполненных на основе грибовидных полосно-заграждающих структур. Предложены способы расширения рабочей полосы указанных устройств, заключающиеся в формировании двухслойных или многослойных топологических структур, в которых слои образованы импедансными частотно-селективными поверхностями. Первый предложенный способ получения такой поверхности заключается в создании дополнительного слоя проводящих пластин, имеющих омический контакт с металлизированными переходными отверстиями, которые в свою очередь также имеют омический контакт с пластинами верхней импедансной поверхности и с плоскостью заземления. Второй предложенный способ заключается в формировании промежуточной импедансной поверхности из периодически расположенных на плоскости вложенных кольцевых разомкнутых резонаторов. Причем такие резонаторные кольца располагаются в промежуточном слое структуры непосредственно под верхними пластинами концентрически вокруг металлизированного переходного отверстия, не имея омического контакта с ним, диаметр внешнего кольца не превышает длины верхней пластины.
Показано, что использование в конструкциях грибовидных полосно-заграждающих структур промежуточных импедансных поверхностей позволяет создавать СВЧ-устройства на основе объемных метаматериалов с расширенной полосой пропускания и возможностью ее перестройки, а также многодиапазонные частотно-селективные устройства. С использованием программных средств AWR Design Environment (Microwave Office v.9.0) выполнено численное моделирование таких СВЧ-устройств, демонстрирующее эффект расширения рабочей полосы, и приведены результаты экспериментальных исследований, подтверждающие их соответствие с результатами моделирования. Показано, что интерес к исследованию грибовидных полосно-заграждающих структур обусловлен перспективностью их использования для создания частотно-селективных СВЧ-устройств с улучшенными характеристиками, в частности, специальных экранов отсечки многолучевости прецизионных антенн для систем геодезии и навигации, а также пространственных фильтров для развязки элементов в антенных решетках.

Для цитирования:
Кухаренко А.С., Елизаров А.А. Анализ физических особенностей метаматериалов и частотно-селективных СВЧ-устройств на их основе // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2015. – Том 9. – №5. – С. 36-41.

For citation:
Kukharenko A.S., Yelizarov A.A. Analysis of metamaterial physical features and constituted frequency-selective devices . T-Comm. 2015. Vol 9. No.5, pp. 36-41. (*in Russian*).

Введение

Современный этап исследования физических свойств метаматериалов подтверждает их преимущества при создании частотно-селективных поверхностей, развязывающих фильтров, экранов и покрытий, обеспечивающих радиомаскировку, и других СВЧ-устройств [1-3].

Метаматериал с грибовидной структурой впервые описан Сивенпайпером в работе [4]. Он конструктивно представляет собой экранированную с одной стороны однослойную диэлектрическую плату с периодически расположенными рядами сквозных отверстий, в каждом из которых закреплены идентичные металлические элементы в виде распределенных колебательных контуров, связанных емкостными зазорами, и имеющих геометрические размеры, много меньшие рабочей длины волны.

Интерес к исследованию грибовидных полосно-заграждающих структур обусловлен перспективностью их использования для создания частотно-селективных СВЧ-устройств с улучшенными характеристиками, в частности, специальных экранов отсечки многолучевости и прецизионных антенн для систем геодезии и навигации [5], а также пространственных фильтров для развязки элементов в антенных решетках [6].

Однако, наряду с обладанием уникальными свойствами [2, 3], грибовидные метаматериалы имеют существенный недостаток – узкую рабочую полосу, что объясняется их резонансной природой. Настоящая работа посвящена анализу физических особенностей грибовидных метаматериалов и методов расширения полосы заграждения частотно-селективных СВЧ-устройств на их основе.

1. Грибовидные полосно-заграждающие структуры

Распределенные колебательные контуры грибовидного метаматериала (рис.1) могут быть представлены эквивалентной схемой (рис.2), содержащей индуктивности, образованные цилиндрическими металлическими ножками, соединенными с экраном, и емкости, сформированные между соседними контурами. Такая конструкция представляет собой линию передачи с отрицательной дисперсией, обладающую отрицательной фазовой скоростью и положительной групповой скоростью. Каждый из идентичных колебательных контуров при изменении геометрических размеров может иметь резонансную частоту от 0,1 до 100 ГГц.

При расположении параллельно рассматриваемым поверхностям СВЧ-излучателя, например, горизонтального вибратора, в нем возникает зеркально отраженный ток, эквивалентный наличию второго излучателя. Причем этот ток будет противофазен току при наличии импедансной металлической поверхности, и синфазен в случае поверхности, образованной метаматериалом. Таким образом, при синфазных токах, наличие отражения усиливает излучение вибратора, а при противофазных токах излучение вибратора будет компенсироваться. Следует также подчеркнуть еще одно преимущество метаматериала – поверхностный ток не затекает на обратную сторону экранированной диэлектрической платы, что полностью уничтожает обратное излучение, всегда возникающее в излучающей структуре с импедансной металлической поверхностью [7].

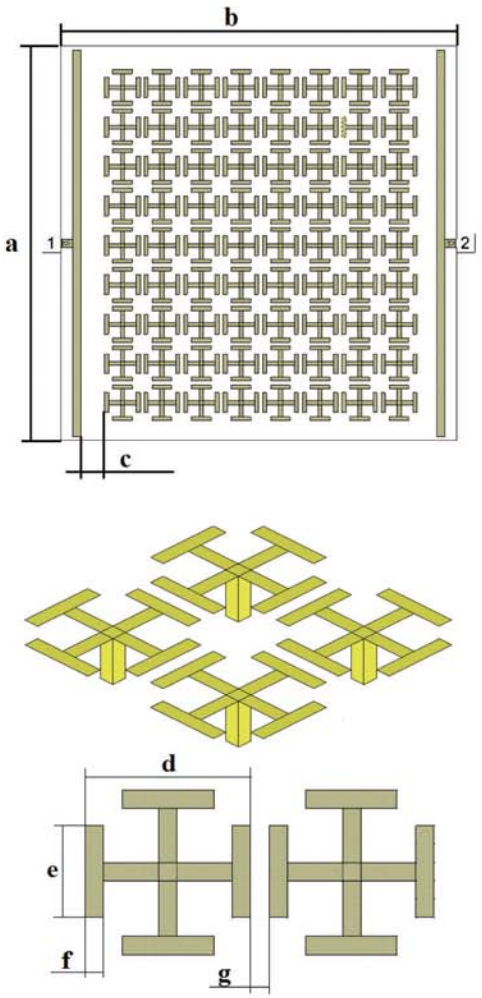

Рис. 1. Грибовидная полосно-запирающая структура. Размеры: a=b=100 мм; c=7 мм; d=9 мм; e=5 мм; f=g=1 мм

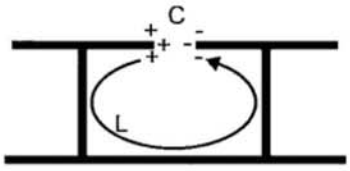

Рис. 2. Образование эквивалентных индуктивности и емкости между двумя распределенными колебательными контурами

Частотно-селективные свойства метаматериала подтверждаются результатами численного эксперимента, полученными с помощью программных средств AWR Design Environment (Microwave Office v.9.0). На рис.3 показаны зависимости комплексного коэффициента передачи S_{21} от частоты, полученные для структуры с импедансной металлической поверхностью (кривая 1) и частотно-селективной структуры с топологией, выполненной по рис.1 на подложке с относительной диэлектрической проницаемостью ε =4,4 и толщиной 2 мм (кривая 2).

Сравнение данных характеристик показывает более чем тысячекратный рост затухания колебаний у метаматериала (95,9 дБ против 50,8 дБ, обеспечиваемых импедансной металлической поверхностью) на частоте резонанса структуры 4070 МГц.

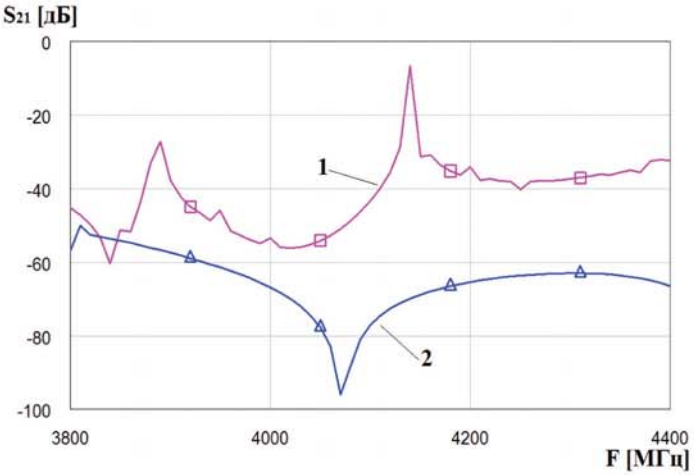

Рис. 3. Зависимости параметра S_{21} от частоты для импедансной металлической поверхности (1) и полосно-заграждающей структуры на метаматериале (2)

2. Грибовидные полосно-заграждающие структуры с расширенной полосой

Резонансная природа метаматериала не позволяет, к сожалению, обеспечивать развязку в широкой полосе частот. Так рассмотренная выше конструкция частотно-селективной СВЧ-структуры обеспечивает полосу заграждения 37 МГц по уровню (-80) дБ.

В работе [8] А. Санадой, К. Калосом и Т. Ито была описана грибовидная полосно-заграждающая структура, в которой между «шляпками грибков» и земляной плоскостью вводился дополнительный слой периодически расположенных проводящих пластин, не имеющих омического контакта ни между собой, ни с металлизированными переходными отверстиями (рис. 4). За счет влияния этих пластин, эквивалентная емкость между соседними элементами структуры увеличивается, что приводит к уменьшению резонансной частоты полосно-заграждающей структуры в целом при сохранении ее геометрических размеров. Однако этот прием не позволяет расширить рабочую полосу.

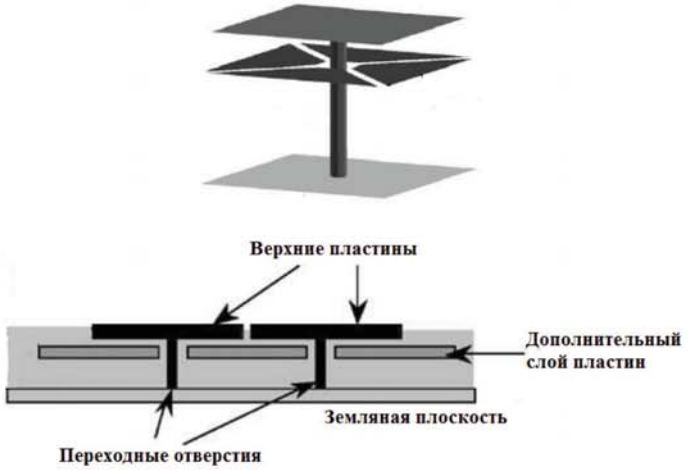

Рис. 4. Грибовидная полосно-заграждающая структура с дополнительным слоем периодически расположенных проводящих пластин

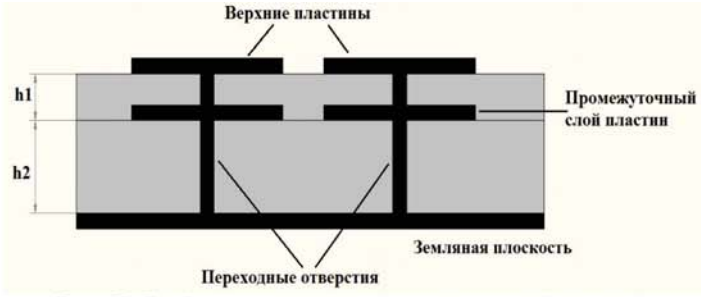

Рис. 5. Грибовидная структура с расширенной полосой заграждения

Одним из возможных способов расширения рабочего диапазона частотно-селективных СВЧ-устройств на основе грибовидных полосно-заграждающих структур является использование двухслойной диэлектрической подложки, в которой под верхними проводящими пластинами расположен дополнительный слой пластин такой же формы и размера, и также имеющих омический контакт с металлизированными переходными отверстиями (рис. 5).

Предлагаемая конструкция представляет собой две последовательно включенные грибовидные структуры, отличающиеся лишь длинами металлизированных переходных отверстий, которые определяют эквивалентные индуктивности контуров. Так эквивалентная индуктивность L1 определяется суммарной толщиной подложек h1+h2, а эквивалентная индуктивность L2 – толщиной диэлектрической подложки h2. В общем случае h1 не равно h2. Таким образом, имея разные значения эквивалентных индуктивностей, структуры имеют различные, но близкие друг к другу резонансные частоты, которые совместно образуют более широкую полосу заграждения по сравнению с полосой обычной грибовидной структуры.

3. Частотно-селективные СВЧ-устройства на объемных метаматериалах

Другим способом расширения рабочей полосы частотно-селективных СВЧ-устройств на основе высокоимпедансных поверхностей является применение многослойных печатных плат с расположенными в промежуточных слоях (между каждым колебательным контуром и экраном) проводниками в виде кольцевых разомкнутых резонаторов, представляющих собой вложенные друг в друга и разомкнутые с противоположных сторон изолированные кольца или многоугольники (рис. 6) [1-3, 9].

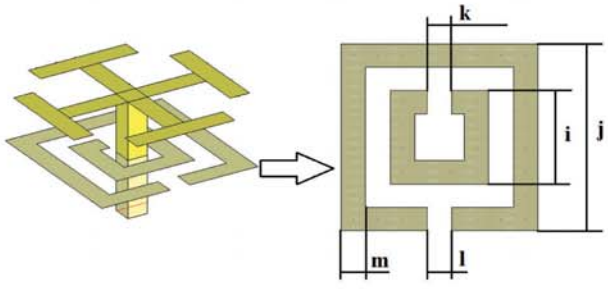

Рис. 6. Конструкция частотно-селективного СВЧ-устройства на метаматериале с кольцевыми разомкнутыми резонаторами. Размеры: i=4 мм; j=8 мм; k=l=m=1 мм

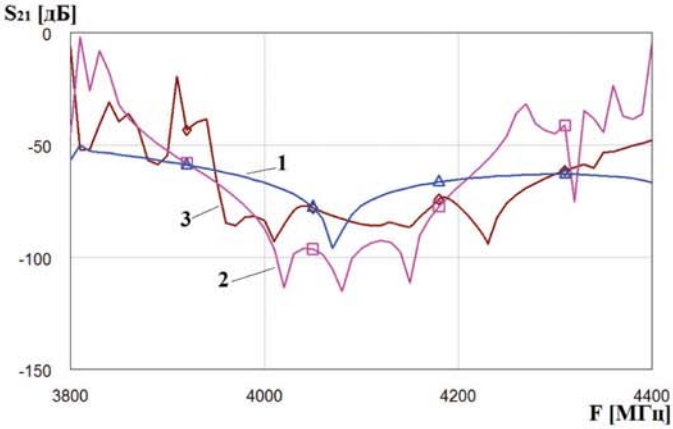

Рис. 7. Зависимости параметра S_{21} от частоты для полосно-заграждающих структур на однослойном (1), двухслойном (2) метаматериале и метаматериале с промежуточным слоем резонаторных колец (3)

Объединение нескольких высокоимпедансных топологических поверхностей формирует объемный композитный метаматериал, на основе которого могут быть созданы многодиапазонные или широкополосные частотно-селективные СВЧ-устройства, обладающие расширенной полосой заграждения и возможностью ее перестройки.

На рис. 7 показаны результаты численного моделирования полосно-заграждающей структуры с топологией распределенных колебательных контуров, изображенной на рис. 6 (кривая 3), в сравнении с топологией по рис. 5 (кривая 2) и по рис. 1 (кривая 1). Во всех трех случаях структуры имели одинаковые геометрические размеры, включая размеры крестообразных проводников. Относительная диэлектрическая проницаемость материала подложек $\varepsilon = 4{,}4$, толщина – 2 мм.

Сравнение результатов расчета показывает, что структура по рис. 5 имеет больший по сравнению с традиционной грибовидной конструкцией уровень затухания до (-115,2) дБ, и обеспечивает развязку на уровне (-80) дБ в полосе заграждения 3986-4175 МГц. Таким образом, введение в метаматериал дополнительного слоя проводящих пластин позволило в 5 раз (до 189 МГц) расширить рабочую полосу структуры без изменения ее габаритных размеров.

Полосно-заграждающая структура на метаматериале с кольцевыми разомкнутыми резонаторами демонстрирует рабочую полосу 3957-4242 МГц при затухании 80-94,7 дБ. Тем самым достигается более чем семикратное расширение полосы заграждения – до 285 МГц по сравнению с традиционной грибовидной конструкцией.

4. Экспериментальное исследование частотно-селективного СВЧ-устройства на метаматериале

Экспериментальное исследование одного из рассмотренных выше частотно-селективных СВЧ-устройств на метаматериале выполнено с помощью векторного анализатора ZVB-4 компании Rodhe & Schwarz. Макет однослойной грибовидной полосно-заграждающей структуры, изготовленный на основе печатной платы из стеклотекстолита ($\varepsilon = 4{,}6$) с габаритными размерами 100x50 мм и толщиной 2 мм, показан на рис. 8. Геометрические размеры крестообразных проводников соответствуют рис. 1.

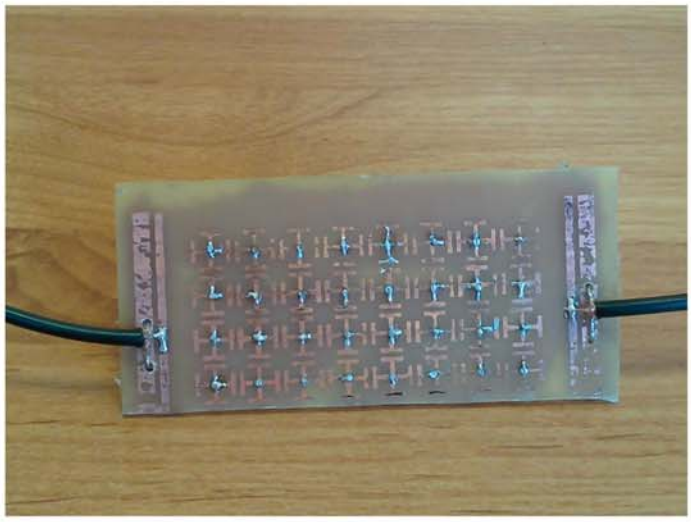

Рис. 8. Экспериментальный макет полосно-заграждающей структуры на метаматериале

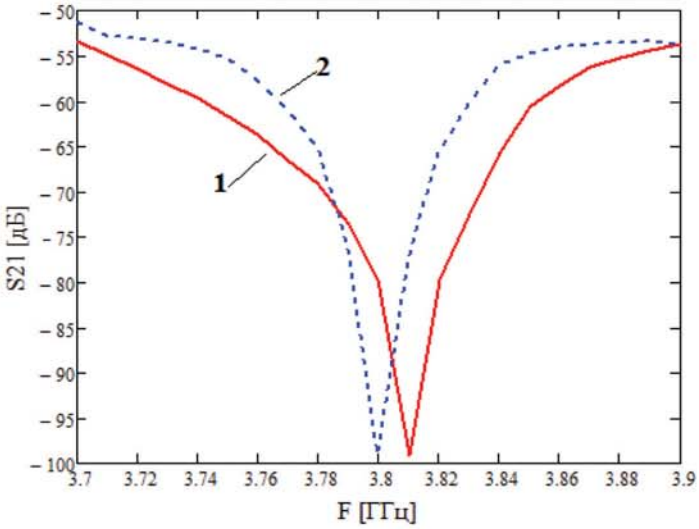

Рис. 9. Зависимости комплексного коэффициента передачи от частоты для макета полосно-заграждающей структуры на метаматериале: 1 –рассчитанная численно в программе AWR, 2 – полученная экспериментально

Результаты численного моделирования (кривая 1), выполненного с помощью AWR Design Environment (Microwave Office v.9.0) и эксперимента (кривая 2), показаны на рис. 9. Сравнительный анализ полученных кривых показывает, что затухание комплексного коэффициента передачи S_{21}, полученное численно, составляет 99,2 дБ на резонансной частоте 3810 МГц, а измеренное экспериментально – 99,0 дБ на частоте 3801 МГц. Разница в резонансных частотах составляет 9 МГц (0,25%), что вызвано погрешностями изготовления макета и находится в допустимых пределах. Следовательно, полученные результаты компьютерного моделирования можно считать достоверными.

Заключение

В работе предложены два оригинальных способа расширения рабочей полосы грибовидных метаматериалов без увеличения их габаритных размеров. Первый из них заключается в формировании между импедансной и земляной поверхностями метаматериала дополнительной импедансной поверхности, топология которой повторяет по форме и размеру проводящий рисунок, формирующий первую импедансную поверхность, и расположена строго под ней.

Другой способ заключается в формировании промежуточной импедансной поверхности из периодически расположенных на плоскости непосредственно под пластинами, формирующими верхнюю импедансную поверхность, вложенных кольцевых разомкнутых резонаторов, не имеющих омического контакта ни между собой, ни с верхними пластинами, ни с металлизированным переходным отверстием. Такая структура позволяет создавать не только широкополосные, но и многодиапазонные метаматериалы.

При помощи численного моделирования наглядно продемонстрирован эффект расширения в 5-7 раз полосы запирания частотно-селективных СВЧ-устройств, выполненных на основе предложенных метаматериалов, по сравнению с аналогичными устройствами на основе традиционной грибовидной конструкции. Приведены результаты экспериментальных исследований, подтверждающие достоверность данных численного моделирования.

Литература

1. *Вендик И.Б., Вендик О.Г.* Метаматериалы и их применение в технике сверхвысоких частот (обзор) // Журнал технической физики. – 2013. – Т.83. – Вып.1. – С.3-28.
2. Metamaterials Handbook: Vol. I. Phenomena and Theory of Metamaterials. – 926 p.; Vol. II. Applications of Metamaterials. – 724 p. / Ed. by *F.Capolino,* CRC Press, Taylor & Francis Group, 2009.
3. *Engheta N., Ziolkowsky R. W.* Metamaterials – physics and engineering exploration. Danvers: John Wiley & Sons Inc., 2006. – 414 p.
4. *Sievenpiper D., Zhang L., Broas R.J., Alexopolous N.G., Yablonovitch E.* High-impedance electromagnetic surfaces with a forbidden frequency band // IEEE Trans. MTT. – 1999. – Vol. 47. – № 11. – P.2059-2074.
5. *Бойко С.Н., Веселаго В.Г., Виноградов Е.А., Жуков А.А.* Малогабаритные антенны на основе метаматериалов (практические аспекты) // Антенны, 2012. – № 12. – С. 32-41.
6. *Бойко С.Н., Елизаров А.А., Закирова Э.А., Кухаренко А.С.* Исследование малогабаритного развязывающего СВЧ фильтра на метаматериале // Материалы международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы электронного приборостроения АПЭП – 2014», Саратов, 2014. – Т.1. – С.218-225.
7. *Froozesh A., Shafai L.* Investigations into the application of artificial magnetic conductors to bandwidth broading, gain enhancement and beam shaping of low profile and conventional monopole antennas. // IEEE Trans. AP. – 2011. – Vol.59. – №1, pp.4-20.
8. *Sanada A., Calos C., Itoh T.* Planar distributed structures with negative refractive index // IEEE Trans. MTT. – 1999. – Vol. 52. – № 4, pp.1252-1263.
9. *Caloz Ch., Itoh T.* Electromagnetic metamaterials: transmission line theory and microwave applications (the engineering approach) – New Jersey: A John Wiley & Sons Inc., 2006. – 352 p.

ANALYSIS OF METAMATERIAL PHYSICAL FEATURES AND CONSTITUTED FREQUENCY-SELECTIVE DEVICES

Kukharenko A.S., *Russia, Moscow,* ***alexk.05@mail.ru***
Yelizarov A.A., *Russia, Moscow,* ***a.yelizarov@hse.ru***

Abstract
One of modern electrodynamics and microwave electronics evolution ways is investigation of metamaterials, which are composite unions, which properties are caused by artificially made periodic macro element system. But these structures have an overall mismatch - a narrow working band, which is caused by its resonant nature. An analysis of metamaterial physical properties and constructions of frequency-selective microwave devices, based on mushroom-type band-gap structures is presented. Ways of the mentioned devises band width extension which are in forming double ore multilayer structures, where layers are formed by impedance frequency-selective structures, are suggested. The first suggested way is forming an additional layer of conducting plates having a contact with vias, which also have a contact with top impedance surface plates and with ground plane. The second suggested way is to form the middle impedance plane from resonant inserted rings, periodically placed on a plane. Resonant rings should be placed in the middle layer of the structure under the top plates concentrically around the via, having no contact with them, the external ring diameter shouldn't be larger than the plate length. It is shown, that using of middle impedance surfaces in mushroom-type band-gap constructions allows creating microwave devices based on 3-D metamaterials with extended bandwidth and a possibility of its readjusting and also multiband frequency-selective devises creation. Using AWR Design Environment (Microwave Office v.9.0) software a numerical analysis of microwave devices demonstrating a band width extension effect is made, and experimental data matching with the numerical analysis are shown. It is shown, that an interest to mushroom-type frequency-selective structures investigation is caused by perspective of using such devises for creation of frequency-selective microwave devices with better characteristics, in particular of special multipath mitigating ground planes for navigation systems and square filters for antenna element decoupling in antenna arrays.

Keywords: *metamaterial, bandwidth extension, EBG structures, frequency-selective devices, mushroom-type structures.*

References

1. *Vendik I.B., Vendik O.G.* Ghurnal tehnicheskoy phiziky, 2013. Vol.83. No.1, pp.3-28. (*in Russian*).
2. Metamaterials Handbook: Vol. I. Phenomena and Theory of Metamaterials, 926 p.; Vol. II. Applications of Metamaterials, 724 p. / Ed. by F.Capolino, CRC Press, Taylor & Francis Group, 2009.
3. *Engheta N., Ziolkowsky R.W.* Metamaterials – phisics and engineering exploration, Danvers, John Willey and sons inc., 2006. 414 p.
4. *Sievenpiper D., Zhang L., Broas R.J., Alexopolous N.G., Yablonovitch. E.* High-impedance electromagnetic surfaces with a forbidden frequency band, IEEE Trans. MTT. 1999. Vol. 47. No. 11, pp. 2059-2074.
5. *Boyko S.N., Veselago V.G., Vinogradov Y.A., Ghukov A.A.,* Antenny. 2012. No 12, pp. 32-41. (*in Russian*).
6. *Boyko S.N., Yelizarov A.A., Zakirova E.A., Kukharenko A. S.* APEP-2014 conferense, Saratov. 2014. Vol. 1, pp. 218-225. (*in Russian*).
7. *Froozesh A., Shafai L.* Investigations into the application of artificial magnetic conductors to bandwidth broading, gain enhancement and beam shaping of low profile and conventional monopole antennas. IEEE Trans. AP. 2011. Vol. 59. No. 1, pp. 4-20.
8. *Sanada A., Calos C., Itoh T.* Planar distributed structures with negative refractive index. IEEE Trans. MTT. 1999. Vol. 52. No 4, pp.1252-1263.
9. *Caloz Ch., Itoh T.* Electromagnetic metamaterials: transmission line theory and microwave applications (the engineering approach), New Jersey, A John Wiley & Sons Inc., 2006, 352 p.

Information about authors: *Kukharenko A.S., Ph. D., head researcher, Branch of "United Rocket and Space Corporation" "Institute of Space Device Engineering", Moscow, Russia.*
Yelizarov A.A., Ph. D., professor, National Research University "Higher School of Economics", Moscow, Russia.

For citation:
Kukharenko A.S., Yelizarov A.A. Analysis of metamaterial physical features and constituted frequency-selective devices . T-Comm. 2015. Vol 9. No.5, pp. 36-41. (*in Russian*).

КРИТЕРИЙ ДЕКОМПОЗИЦИИ ЛИНЕЙНЫХ ПРОВОДНИКОВ ПРИ РАСЧЕТЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

Лемешко Николай Васильевич,
д.т.н., в.н.с., НТЦ Анализа ЭМС
ФГУП Научно-исследовательский институт радио,
Москва, Россия, ***nlem83@mail.ru***

Захарова Светлана Сергеевна,
к.т.н., доцент кафедры РЭТ МИЭМ НИУ
"Высшая школа экономики", Москва, Россия,
szaharova@hse.ru

Ключевые слова: *электрически короткие антенны, методика, продольное разбиение проводников, критерий декомпозиции, электродинамическое моделирование.*

Некоторые из методов расчета электромагнитных полей, формируемых проводниками, предполагают их разбиение на элементы и последующее векторное суммирование компонентов поля в необходимых точках. Компоненты поля для каждого элемента декомпозиции при этом рассчитываются на основе точных решений уравнений Максвелла, полученных для дипольного излучателя, либо для аналогичных решений для других элементарных излучателей. Предлагается критерий декомпозиции прямолинейных проводников, основанный на максимально допустимой погрешности, вызванной неоднородностью распределения возбуждающего тока в элементе декомпозиции. Критерий выработан на основе сопоставления приближенных и точных расчетов диаграмм направленности коротких проводников, построенных для дальней зоны излучения. При этом приближенные соотношения были получены в предположении равномерности распределения тока в линейном участке проводника, в то время как точные значения учитывают неодинаковые уровни тока на его протяжении, характерные для синусоидального тока. Предложенный метод может быть использован, например, при анализе излучений печатных плат для определения максимально допустимой длины элемента декомпозиции проводников. Приводятся исходные формулы компонентов поля для дипольного излучателя при гармоническом возбуждении, проводится их адаптация для произвольного тока с соблюдением, однако, приближения электрически коротких антенн для максимальной частоты спектра тока. Далее проводится упомянутое выше сопоставление диаграмм направленности с получением жесткого, математически сформулированного критерия декомпозиции, определяющего максимально допустимую длину элемента декомпозиции в зависимости от допустимой погрешности и значения коэффициента распространения. Приводятся графики, упрощающие практическое применение предложенного критерия декомпозиции.

Для цитирования:
Лемешко Н.В., Захарова С.С. Критерий декомпозиции линейных проводников при расчете электромагнитных полей // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2015. – Том 9. – №5. – С. 42-46.

For citation:
Lemeshko N.V., Zakharova S.S. Criterion decomposition linear conductor electromagnetic fields in calculating. T-Comm. 2015. Vol 9. No.5, pp. 42-46. (*in Russian*).

В качестве элементов декомпозиции целесообразно выбрать те, для которых известны точные выражения для составляющих электромагнитного поля, полученные на основе решения уравнений Максвелла. Для линейного элемента с током, для которого, согласно [1], при синусоидальном возбуждающем токе компоненты электромагнитного поля в любой зоне излучения описываются выражениями

$$\vec{H} = \dot{H}_\varphi \vec{\varphi}_0, \quad \vec{E} = \dot{E}_r \vec{r}_0 + \dot{E}_\theta \vec{\theta}_0, \qquad (1)$$

где $\vec{E}$ и $\vec{H}$ – векторы комплексных амплитуд напряженности электрической и магнитной составляющей электромагнитного поля, $\vec{\varphi}_0$, $\vec{\theta}_0$ и $\vec{r}_0$ – единичные орты (рис. 1). Комплексные составляющие $\dot{H}_\varphi$, $\dot{E}_r$ и $\dot{E}_\theta$ задаются уравнениями

$$\dot{H}_\varphi = \frac{\dot{I}\,l}{4\pi} e^{-jkr}\left(\frac{jk}{r} + \frac{1}{r^2}\right)\sin(\theta), \quad \dot{E}_r = -j\frac{\dot{I}\,l}{2\pi\omega\varepsilon_a} e^{-jkr}\left(\frac{1}{r^3} + \frac{jk}{r^2}\right)\cos(\theta),$$
$$\dot{E}_\theta = -j\frac{\dot{I}\,l}{4\pi\omega\varepsilon_a} e^{-jkr}\left(\frac{1}{r^3} + \frac{jk}{r^2} - \frac{k^2}{r}\right)\sin(\theta). \qquad (2)$$

В уравнениях (2) $\dot{I}$ – комплексная амплитуда тока в проводнике; l – его длина; r – расстояние между точкой наблюдения и центром проводника; $k = 2\pi/\lambda$ – волновое число; ε_a – диэлектрическая постоянная среды распространения радиоволн; ω – циклическая частота. Множитель e^{-jkr} определяет сдвиг фазы, вызванный запаздыванием появления излучения в точке наблюдения за счет конечной скорости распространения радиоволн. Направление ортов соответствует правой тройке векторов; отсчет углов θ и φ выполняется от положительных направлений осей Z и X соответствующей декартовой системы координат.

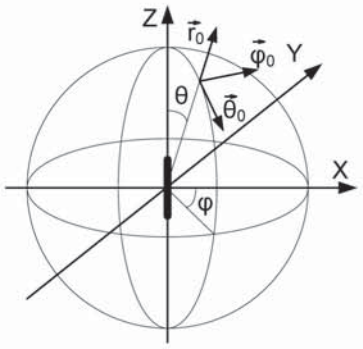

Рис. 1. Компоненты поля, формируемого линейным элементом с током, и единичные орты

Выражения (2) описывают излучение элемента с током для случая, когда $l << \lambda$. Слагаемые, обратно пропорциональные r^3, определяются накоплением заряда на концах диполя. Основное отличие дипольного излучателя от участка проводника состоит в том, что первый является замкнутой электрической системой. Поскольку токи, втекающие в данный элемент проводника и вытекающие из него, одинаковы, то его электронейтральность не нарушается, и заряд на концах проводника не накапливается. Поэтому слагаемые с r^3 в (2) для элемента с током будут отсутствовать.

Для получения обобщенных зависимостей компонентов поля для токов произвольной формы в выражениях (2) от комплексных амплитуд перейдем к комплексным напряженностям как функциям времени. Вводя функцию $\dot{I}(t) = \dot{I}e^{j(\omega t - kr)}$ и учитывая, что $d\dot{I}(t)/dt = j\omega\dot{I}e^{j(\omega t - kr)} = j\omega\dot{I}(t)$, преобразуем (2) к виду

$$\dot{H}_\varphi(t) = \frac{l}{4\pi}\left(\frac{1}{cr}\frac{d\dot{I}(t)}{dt} + \frac{\dot{I}(t)}{r^2}\right)\sin(\theta), \quad \dot{E}_r(t) = \frac{\dot{I}(t)\,l}{2\pi\varepsilon_a c r^2}\cos(\theta),$$
$$\dot{E}_\theta(t) = \frac{l}{4\pi\varepsilon_a}\left(\frac{\dot{I}(t)}{cr^2} + \frac{1}{c^2 r}\frac{d\dot{I}(t)}{dt}\right)\sin(\theta). \qquad (3)$$

Выражения (3) получены для монохроматического процесса. Однако они могут быть обобщены на случай тока произвольной формы следующим образом. Над функцией $\dot{I}(t)$ в уравнениях компонентов поля выполняются только линейные операции, поэтому в качестве этого комплексного тока может быть рассмотрена сумма $\dot{I}(t) = \sum_{n=1}^{N} \dot{I}_n e^{j(\omega_n t - k_n r)}$, где N – конечное целое число. При этом, однако, должно выполняться условие $l << \max(2\pi c/\omega_n)$, т.е. для волны самой малой длины элемент с током должен быть электрически коротким, что соответствует условию постоянства тока в элементе. Из изложенного следует, что перед анализом излучения элементами декомпозиции следует ограничить спектр вызывающего его тока $i(t)$. Принципы такого ограничения рассмотрены в [2].

Далее, $\omega t - kr = \omega(t - kr/\omega) = \omega(t - r/c)$. Очевидно, что для выбранной точки наблюдения запаздывание появления излучения будет определяться расстоянием до нее. Обобщая (3), переходя к функциям времени и рассматривая среду распространения с вещественными значениями ε_a и μ_a, получим

$$H_\varphi(t) = \frac{l\sin(\theta)}{4\pi}\left(\frac{\sqrt{\varepsilon_a\mu_a}}{r}\frac{di(t-\tau)}{dt} + \frac{i(t-\tau)}{r^2}\right), \quad E_r(t) = \frac{l\cos(\theta)}{2\pi r^2}\sqrt{\frac{\mu_a}{\varepsilon_a}}i(t-\tau),$$
$$E_\theta(t) = \frac{l\sin(\theta)}{4\pi}\left(\sqrt{\frac{\mu_a}{\varepsilon_a}}\frac{i(t-\tau)}{r^2} + \frac{\mu_a}{r}\frac{di(t-\tau)}{dt}\right). \qquad (4)$$

Данные соотношения взяты за основу при расчете излучения каждого выбранного для анализа элемента декомпозиции. Запаздывание в случае распространения в однородной среде составляет $\tau = r\sqrt{\mu_a\varepsilon_a}$.

Уравнение (4) является отправной точкой в выработке критерия декомпозиции проводников.

Для использования выражений (4) необходимо, чтобы в пределах элемента с током распределение последнего было равномерным. Однако высокая динамика изменения распределения токов в проводниках на высоких частотах приводит к тому, что даже для небольших участков значение тока не будет одинаковым. Оценить максимально допустимые размеры элемента декомпозиции можно на основе сопоставления диаграмм направленности, полученных для постоянного и точно рассчитанного распределения тока в рассматриваемом участке проводника. Как показали выполненные исследования, поперечная декомпозиция проводников не требуется до частот порядка 10 ГГц,

поэтому ниже целесообразно рассматривать только продольную декомпозицию.

Для выполнения анализа рассмотрим рис. 2. Проводник характеризуется протяженностью от $-l/2$ до $l/2$ по координатной оси Z. Расстояние r до точки наблюдения отсчитывается от центра сечения проводника, имеющем координату $z = 0$. Для значительного удаления точки наблюдения от проводника можно считать, что излучение, формируемое разными участками проводника, приходит в точку наблюдения по параллельным прямым.

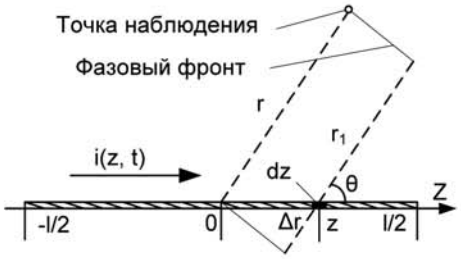

Рис. 2. К определению критерия продольного разбиения проводников

Условие достижения максимума парциальными составляющими компонентов поля (4), пропорциональных r^{-2}, заключается в максимальном токе, протекающем в проводнике с учетом его рассмотрения как длиной линии, что достигается при соответствии амплитуды тока точке $z = 0$. Аналогичное условие для составляющих, пропорциональных r^{-1}, состоит в максимальной динамике изменения тока вблизи центра проводника. При построении амплитудной диаграммы направленности (ДН) оба этих условия должны описываться с учетом неоднородности возбуждающего излучение фактора вдоль проводника, которое зависит от скорости распространения тока в нем.

Скорость распространения волны в линии будет определяться её конструкцией, от которой зависят абсолютные значения эффективной магнитной $\mu_{l,eff}$ и электрической $\varepsilon_{l,eff}$ проницаемости. Расчет значений скорости распространения волн в линиях передачи различной конструкции может быть выполнен на основе формул, приводимых в справочниках по топологии либо линиям передачи (например, [3]).

Для выделенного на проводнике элементарного участка длиной dz, удаленного от начала координат на расстояние z, выражение для амплитудной ДН будет следующим:

$$dA(\theta) = kI\cos\left(2\pi fz\sqrt{\mu_{l,eff}\varepsilon_{l,eff}}\right)\cos\left(2\pi fz\cos(\theta)\sqrt{\mu_a\varepsilon_a}\right)dz\,. \quad (5)$$

В последнем выражении значения коэффициентов k могут быть найдены для каждой парциальной составляющей каждого компонента поля из уравнений (3). Удаление точки наблюдения для каждого элементарного источника излучения принято равным r, поскольку $r >> z\cos(\theta)$.

Скорость распространения электромагнитной волны в проводнике будет меньше, чем в свободном пространстве. Соотношение этих скоростей определяется [4] коэффициентом распространения $k_p = \sqrt{\mu_a\varepsilon_a}/\sqrt{\mu_{l,eff}\varepsilon_{l,eff}} < 1$. Если полагать, что значения μ_a и ε_a относятся к свободному пространству, то скорость распространения в линии $v_l = ck_p$. Амплитудная ДН, исходя из изложенного, будет для любой парциальной составляющей любого компонента поля (3) определяться следующим выражением:

$$A(\theta) = \int_{-l/2}^{l/2} kI\cos\left(2\pi fz\sqrt{\mu_a\varepsilon_a}/k_p\right)\cos\left(2\pi fz\cos(\theta)\sqrt{\mu_a\varepsilon_a}\right)dz =$$

$$= kI\left(\frac{\sin(\pi f\sqrt{\mu_a\varepsilon_a}(1/k_p-\cos(\theta))l)}{2\pi f\sqrt{\mu_a\varepsilon_a}(1/k_p-\cos(\theta))}+\frac{\sin(\pi f\sqrt{\mu_a\varepsilon_a}(1/k_p+\cos(\theta))l)}{2\pi f\sqrt{\mu_a\varepsilon_a}(1/k_p+\cos(\theta))}\right). \quad (6)$$

В соотношениях (5) и (6) множители $\cos(\theta)$ и $\sin(\theta)$ и расстояние до точки наблюдения учтены в постоянном множителе k. Аналогичная диаграмма направленности, не учитывающая зависимость распределения тока либо его производной от координаты z, с учетом введенного выше коэффициента k будет описываться уравнением $A_l = kIl$. Вводя нормальную электрическую длину излучающего проводника $\beta = l/\lambda$, получим следующее выражение для нормированной диаграммы направленности:

$$A_n(\theta,\beta) = \frac{\sin(\pi\beta(1/k_p-\cos(\theta)))}{2\pi\beta(1/k_p-\cos(\theta))}+\frac{\sin(\pi\beta(1/k_p+\cos(\theta)))}{2\pi\beta(1/k_p+\cos(\theta))}. \quad (7)$$

Значения коэффициентов распространения k_p определяется конструкцией линии передачи. В [5] отмечается, что в обычных линиях на печатных платах обычно не используются ферромагнитные и иные материалы с абсолютной магнитной проницаемостью, большей μ_0. Поэтому в подавляющем большинстве случаев $\mu_{l,eff} = \mu_a$. Для современных диэлектриков, используемых в производстве печатных плат, значение относительной диэлектрической проницаемости ε_d лежит в интервале от 1,8 (для вспененных материалов) до 4…5,6 (например, для стеклотекстолита).

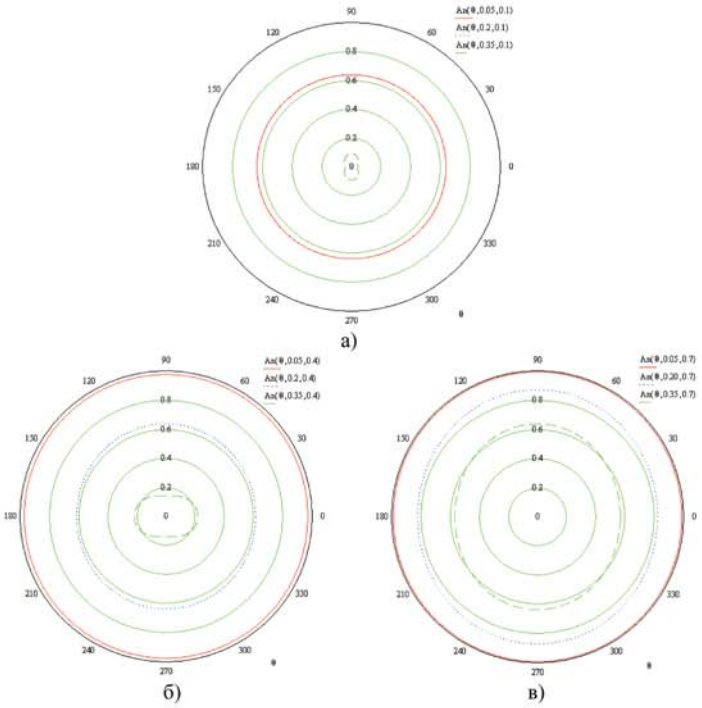

Рис. 3. Нормированные диаграммы направленности для разных значений β: а) для $k_p = 0{,}1$; б) для $k_p = 0{,}4$; в) для $k_p = 0{,}7$

Вместе с тем, в [3] указано, что если линия передачи используется для задержки сигналов, то для её построения применяются материалы с относительной магнитной проницаемостью $\mu_d >> 1$. Можно считать, что в практических случаях $\mu_d = 1\ldots100$. Поскольку в печатных узлах возможно использование разных конструкций линий, то в предельном случае значение $k_p = 1/\sqrt{\mu_d \varepsilon_d}$. Таким образом, диапазон значений k_p, охватывающий все практически значимые случаи, составляет $k_p = 0{,}04\ldots0{,}75$.

На рис. 3 приведены нормированные диаграммы направленности для значений коэффициента распространения $k_p = 0{,}1;\ 0{,}4;\ 0{,}7$ и для значения $\beta = 0{,}05$ (сплошная линия); 0,2 (мелкий пунктир); 0,35 (крупный пунктир).

В качестве критерия для определения максимально допустимой ширины проводника необходимо использовать условие, обеспечивающие точность расчета компонентов поля не хуже заданной для данного элемента декомпозиции и для произвольно выбранного угла θ. С учетом малого значения аргумента синуса в выражении (7) прейдем к разложению в ряд Тейлора [6] с точностью до второго слагаемого, и после элементарных преобразований получим $A_n(\theta, \beta) = 1 - \frac{\pi^2\beta^2}{6}\left(\frac{1}{k_p^{\,2}} + \cos^2(\theta)\right)$. Из рис. 3 и последней формулы следует, что наибольшая погрешность достигается для углов, соответствующих осевому излучению, т.е. при $\theta = 0$. С учетом этого в качестве задаваемого при расчетах показателя точности введем максимальную относительную погрешность $\tau = (1 - A_n(0, \beta_{max}))/A_n(0, \beta_{max})$. Тогда из последнего представления для $A_n(\theta, \beta)$ получим

$$\tau = \frac{\pi^2\beta_{max}^2\left(1 + k_p^{\,2}\right)}{6k_p^{\,2} - \pi^2\beta_{max}^2\left(1 + k_p^{\,2}\right)}. \qquad (8)$$

Решая уравнение (8) относительно β, получим

$$\beta_{max} = \frac{k_p}{\pi}\sqrt{\frac{6\tau}{\left(1 + k_p^{\,2}\right)(1 + \tau)}}. \qquad (9)$$

Значение β_{max}, рассчитанное по формуле (9), определяет максимально допустимую нормальную электрическую длину проводника, при которой выполняются заданные требования по точности. Полученные выражения, основанные на разложении в ряд Тейлора, справедливы для $\pi\beta(1/k_p \pm \cos(\theta)) < 0{,}1$. При необходимости выполнения более точной оценки значения β_{max} следует использовать непосредственно уравнение (7). Выражение (9) является критерием продольной декомпозиции.

На рис. 4 приведено семейство кривых $\beta_{max}(\tau)$, построенных для разных значений k_p в интервале от 0,1 до 0,7. На рис. 5 в логарифмическом масштабе изображены зависимости максимально допустимой длины элемента декомпозиции l_d от частоты f_{max}. Графики соответствуют $\tau = 0{,}1$ (сплошная линия), 0,01 (мелкий пунктир), 0,001 (крупный пунктир) и 0,0001 (точка – пунктир). В каждой из указанных групп графиков верхний соответствует $k_p = 0{,}7$, средний – $k_p = 0{,}4$ и нижний – $k_p = 0{,}1$. Приведенные характеристики можно использовать при выборе максимального шага декомпозиции проводников печатного узла.

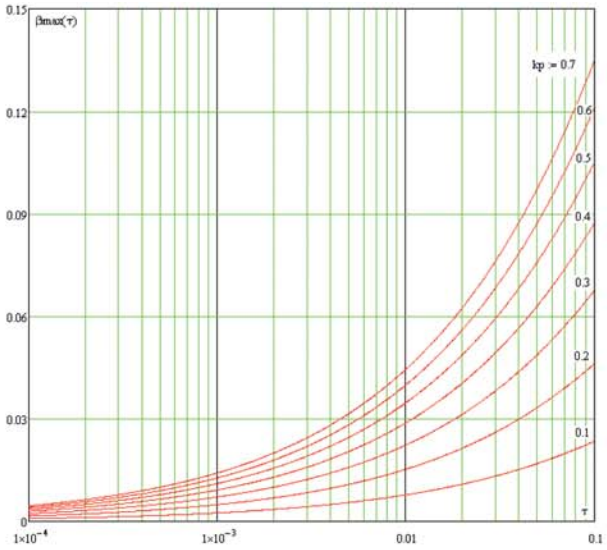

Рис. 4. Зависимости $\beta_{max}(\tau)$ для разных значений k_p

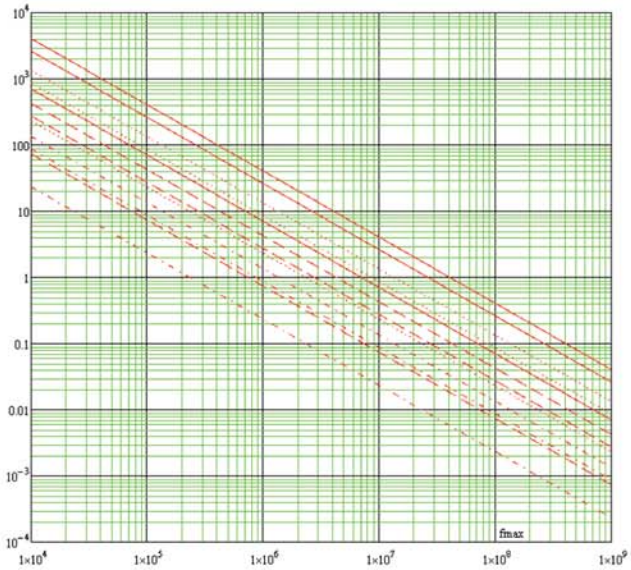

Рис. 5. Зависимости $l_d(f_{max})$ для разных значений k_p

Таким образом, для определения максимально допустимого шага продольной декомпозиции проводников печатной платы, либо, обобщая, других произвольных проводников, необходимо:

– на основе известной конструкции линии передачи либо размещения одиночного проводника рассчитать значения $\mu_{l,eff}$ и $\varepsilon_{l,eff}$ и найти значение коэффициента распространения k_p;

– на основе требований к точности модели задать максимальное значение фи рассчитать по формуле (9) максимальное значение β;

– найти максимально допустимую длину сегмента декомпозиции l_d. С учетом того, что $\lambda = c/f$, имеем $l_d = c\beta/f_{max}$.

Приведенные выше соотношения позволяют выбрать максимально допустимую длину проводников в линиях на печатной плате. Если длина сегмента декомпозиции для выбранной точности будет больше, то заданная точность расчета компонентов электромагнитного поля элементов

декомпозиции не обеспечивается. Важно отметить, что при расчете излучения печатных узлов, помещенных в корпус, может потребоваться декомпозиция на более мелкие элементы. Например, если в заданном направлении на точку наблюдения электромагнитное поле, распространяясь в пространстве, проходит через части корпуса, расположенные в перпендикулярных плоскостях, то для повышения точности целесообразно ввести адаптивную сегментацию. Её сущность и содержание пояснено в [2].

Таким образом, в настоящей работе определен критерий продольного разбиения проводников, который может быть использован при разработке алгоритмов расчетов методом приближения электрически коротких антенн при разработке средств электродинамического моделирования.

Литература

1. *Калашников В.С., Родос Л.Я.* Электродинамика и распространение радиоволн. Письменные лекции. — С.-Пб.: Северо-западный государственный заочный технический университет, 2001. – 88 с.

2. *Лемешко Н.В.* Теоретические основы моделирования сертификационных испытаний радиоэлектронных средств по эмиссии излучаемых радиопомех. Монография. – М.: МИЭМ, 2012. – 196 с.

3. *Ганстон М.А.Р.* Справочник по волновым сопротивлениям фидерных линий СВЧ. – М.: Связь, 1976. – 152 с.

4. *Григоров И.Н.* Антенны. Настройка и согласование. – М.: РадиоСофт, 2008. – 272 с.

5. *Медведев А.* Технология производства печатных плат. – М.: Техносфера, 2005. – 360 с.

6. *Бронштейн И.Н., Семендяев К.А.* Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов. – М.: Лань, 2009. – 608 с.

CRITERION DECOMPOSITION LINEAR CONDUCTOR ELECTROMAGNETIC FIELDS IN CALCULATING

Lemeshko N.V., *Moscow, Russia,* ***nlem83@mail.ru***
Zakharova S.S., *Moscow, Russia,* ***szaharova@hse.ru***

Abstract

Some of the methods for calculating the electromagnetic fields formed by the conductors imply their division into elements and the subsequent the vector summation of the field components at necessary points. Components of the field for each element in this decomposition is calculated on the basis of exact solutions of the Maxwell equations received for the dipole emitter or for analogous solutions for other elementary emmiter. In this paper we present a criterion for decomposition of linear conductors, based on the maximum permissible error caused by the nonuniform distribution of the exciting current in the element decomposition. Criterion developed on the basis of a comparison of approximate and exact calculations directional pattern of short conductors constructed for ?far-field region radiation. At this approximate relationships were obtained considering the assumption of uniform distribution of the current in the linear section of of the conductor, while the exact values uchityvayutneravnomernoe current distribution that are typical of the sinusoidal current. The proposed method can be used, for example, in the analysis radiation to determine the of printed circuit boards maximum permissible conductor length of the element decomposition. The paper presents initial formula field components for the dipole emitter at harmonic excitation, is carried their adaptation to random current compliance approximation electrically short antennas for maximum frequency range of of the current. Next a comparison of directional pattern to obtain a strict, mathematically formulate criteria of decomposition, which determines the maximum length of the element decomposition according to permissible error and the coefficient of distribution. Gives the graph to simplify the practical application of the proposed criterion decomposition.

Keywords: *electrically short antenna, methods, longitudinal partition, conductors criteria decomposition, electromagnetic modeling.*

Reference

1. *Kalashnikov V.S., Rhodes L.J.* Electrodynamics and wave propagation. Writing lecture. - Saint-Petersburg .: Northwestern State Technical University, 2001. 88 p. (*in Russian*).

2. *Lemeshko N.V. Theoretical* bases of modeling certification testing of radio electronic facilities for emitted emissions of radio interference. Monograph. Moscow. MIEM. 2012. 196 p. (*in Russian*).

3. Gunston MAR Handbook of wave resistance feeder microwave. Moscow. Svyaz'. 1976.152 p. (*in Russian*).

4. *Grigorov I.N.* Antenna. Setting up and coordination. Moscow. RadioSoft. 2008. 272 p. (*in Russian*).

5. *Medvedev A.* Technology printed circuit boards. Moscow. Technosphere. 2005. 360 p. (*in Russian*).

6. *Bronstein I.N., Semendyaev K.A.* Handbook of mathematics for engineers and students of technical colleges. Moscow. Lan. 2009. 608 p.

Information about authors: *Lemeshko N.V.?Doctor of Technical Sciences, leading researcher SEC EMC Analysis NIIR, Russia, Moscow; Zakharova S.S., Candidate of Engineering Sciences., Associate Professor at the Department of Electronics and Telecommunications HSE, Russia, Moscow.*

For citation:
Lemeshko N.V., Zakharova S.S. Criterion decomposition linear conductor electromagnetic fields in calculating. T-Comm. 2015. Vol 9. No.5, pp. 42-46. (*in Russian*).

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ОБЪЕКТА С ПОМОЩЬЮ АНАЛИЗА СЕРИИ ЕГО ИЗОБРАЖЕНИЙ

Локтев Даниил Алексеевич,
аспирант, кафедра "Информационные системы и телекоммуникации", Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия,
loktevdan@yandex.ru

Ключевые слова: *система видео- и фотофиксации, диаметр пятна размытия, фокусное расстояние, плоскость фокусировки изображения, модель RGB, число диафрагмы, определение расстояния, точность вычислений.*

Основной целью работы является модификация метода определения геометрических характеристик статичного или подвижного объекта путем исследования его серии изображений. Актуальность темы представляемого исследования связана с необходимостью повышения скорости обработки информации о состоянии перемещающихся объектов для улучшения управления инфраструктурой, потоками транспорта и пассажиров, системами мониторинга и управления, а также с точки зрения комплексных систем безопасности в общественных местах, на объектах транспорта и т.д. Здесь разрабатывается комплексная методика определения параметров статичного или двигающегося объекта на основе использования алгоритмов оценки размытия изображений объекта, представленных в виде трех основных цветовых компонент модели RGB. Проведенные численные исследования показали, что предлагаемая методика лучше существующих методов определения параметров объекта по его изображению позволяет определить расстояние до искомого элемента. Размытие изображения объекта предлагается представить в виде пограничного слоя между объектом и фоном, в работе сформулировано условие принадлежности каждого пикселя изображению объекта, установлен порог чувствительности для цвета фона и цвета объекта. При использовании классической цветовой модели общая интенсивность цвета при переходе между двумя соседними пикселями записывается в виде суперпозиции интенсивностей по отдельным цветам. Численные исследования показали, что начиная с некоторого расстояния от фотодетектора до объекта растет разность между результатами теоретических (по традиционной и предлагаемой методикам) и эмпирических исследований, при этом предлагаемая комплексная методика дает результаты наиболее близкие к экспериментальным. Разработанные вычислительные схемы и методы, основанные на использования алгоритмов детектирования размытия изображений объекта, могут быть адаптированы на случай движения объекта по разным траекториям и с разной скоростью.

Для цитирования:
Локтев Д.А. Определение геометрических параметров объекта с помощью анализа серии его изображений // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2015. – Том 9. – №5. – С. 47-53.

For citation:
Loktev D.A. The definition of geometric parameters of the object by analyzing a series of images. T-Comm. 2015. Vol 9. No.5, pp. 47-53. (*in Russian*).

В современных системах видеомониторинга, контроля удаленного доступа, идентификации отдельных объектов, автоматического управления важным элементом является блок получения первичных данных об объекте, его местоположении, состоянии, параметрах движения и т.д. Согласно традиционной классификации принято выделять ручной, автоматизированный и автоматический ввод данных в информационно-вычислительную систему. В самом общем случае практически в любую систему автоматической обработки данных и управления входят подсистемы ввода данных, их обработки, передачи и хранения. За последние десять лет были решены многие важные задачи обработки и циркуляции информации внутри системы, но также остаются и «узкие» места, одним из которых является получение первичных данных об объекте автоматизации или об объекте, исследование поведения которого автоматизируется.

Получение первичной информации можно классифицировать по удаленности модуля сбора первичных данных от исследуемого объекта, и тогда выделяются методы непосредственного контакта измерительной системы и образца, и методы удаленного получения данных. В первом случае активными элементами, измеряющими параметры и состояние образца, являются тензодатчики на основе пьезоэлементов или волоконно-оптические датчики. Во втором случае данные об объекте формируются удаленно с использованием активных или пассивных средств наблюдения и мониторинга. Активные системы получения информации основаны на излучении электромагнитных волн определенной длины и обработке отраженного от объекта сигнала, пассивные системы в качестве первоначального массива данных используют изображение или серию изображений искомого объекта. При этом изображения, используемые в процессе исследования объекта, могут быть получены как с геометрически связанных между собой фото или видеодетекторов, так и произвольно расположенных камер.

Описываемое направление научных и технических исследований активно развивается в последнее время как отечественными, так и зарубежными исследователями и целыми организациями. В существующих интеллектуальных системах выделяются несколько пассивных способов получения данных об исследуемых объектах, согласно классификации [1] можно выделить: многосенсорный подход (стереозрение), построение перспективы изображения, использование зафиксированной камеры и дополнительного освещения объекта, а также специальная калибровка фото или видеодетектора. Каждая из представленных методик имеет свои преимущества и недостатки и может вполне использоваться на практике в зависимости от поставленной задачи, типа автоматизированной системы удаленного контроля и мониторинга, а также от параметров самого объекта.

В работе [2] использовался набор интеллектуальных камер, которые предоставляли видео в режиме реального времени, при этом движение объекта определялось путем постоянного сканирования изображения, выделялись пути перемещения объектов и происходило их первичное распознавание на уровне человек – не человек, в итоге по точкам, определяющим объект на изображении, анализировалось направление его движения. В исследовании [3] предлагается использовать камеру, дающую трехмерное изображение, т.е. одним из параметров получаемого изображения является глубина или расстояние до отдельных элементов. Данная камера снабжена сенсорами, определяющими глубину расположения каждого выделенного пикселя, поскольку данная технология сопряжена с большими вычислительными нагрузками на техническое обеспечение, то, обычно, выделяются не все точки объекта, а только некоторые расположенные вдоль границы объекта и на равном удалении от них. Активные камеры дают исследователю возможность панорамировать изображения, менять угол поворота и параметры фотофиксации, объектив видеодетектора может определять общие координаты, используя координаты пиксел в выбранных точках в отдельном фрейме изображения.

Для камер подобного класса очень важна процедура калибровки, чаще всего такие процедуры основаны на повороте самой камеры и включают следующие основные этапы: выделение перекрывающихся графических фреймов наблюдаемого изображения, определение функциональных точек изображения, вычисление двумерных преобразований для изображений с соответствующими точками, получение калибровочной матрицы из гомографической матрицы, вычисление функциональных точек глубины, представляющие собой данные для калибровочной матрицы. В работе [4] развивается метод трехмерной реконструкции основанный на дополнительном подсвечивании исследуемого объекта и изучении формы образуемых теней.

Большинство современных камер используют различные системы и алгоритмы автофокусировки, на основе пассивного фокуса и того факта, что точно сфокусированное изображение имеет наилучший контраст относительно любых объектов в выбранной сцене [4, 5]. Для восстановления глубины изображения можно использовать фокусировку камеры, проводимую по следующему алгоритму: изображение разделяется на отдельные активные окна, наилучший контраст для выбранных окон общего изображения записывается в память и данная процедура повторяется до получения наилучшего контраста для всего изображения, по которому и производится фокусировка объектива, полученное фокусное расстояние используется после определения настоящей глубины отдельных фрагментов изображения.

Еще одним популярным методом определения расстояний до объектов на изображении является метод оценки глубины путем исследования дефокусировки [5, 6], в основу данного метода положен физический эффект зависимости определяемого расстояния до объекта на полученном изображении от фокусного расстояния или апертуры объектива. При фокусировке фотодетектора на объекте при определенной дистанции другие объекты, расположенные как ближе, так и дальше фокусного расстояния, образуют пятно размытия в зависимости от расстояния до них на плане изображений. В этом случае важно учесть, что размытие также может существенно меняться из-за

диафрагмы, поскольку уменьшение апертуры ведет к получению более четких изображений объектов на разных дистанциях, когда апертура достаточно велика, то пятно размытие увеличивается.

Описанные методы основаны на использовании дополнительного оборудования и внедрении отдельных элементов в уже существующие технические системы, а также с рядом ограничений на детектируемые объекты, направление и характер их движения, а также на внешние параметры среды детектирования. В связи с этим весьма актуальной и своевременной представляется задача разработки методики позволяющей комплексной автоматизированной системе мониторинга не зависеть от внешних параметров среды и самого объекта, а также свести к минимуму все возможные изменения в составе и настройках штатных систем фото и видеофиксации.

Настоящая работа посвящена определению параметров расположения и движения объекта с помощью анализа серии изображений, полученных из одной точки фотофиксации. Основным подходом, реализуемом в данной работе является определение геометрических и кинематических параметров исследуемого объекта по размытию, получаемому при различных настройках фотодетектора. Похожая процедура была использована в работе [6], для этого используется преобразование Хаара и изображение объекта представляется в виде набора примитивов. Используемая методика построения конечного решения позволяет оценить резкость систем получения изображений с помощью вейвлет - анализа большого количества изображений, полученных, например, при аэрофотосъемке, т.е. когда движется не сам объект, а система его видео и фотофиксации. Само же размытие предлагается искать через вейвлет – анализ, как это сделано в работе [6].

В исследовании [7] определение расстояния до статичного объекта базируется на том факте, что объект, находящийся в фокусе определенной оптической системы, не подвергается размытию, в то время как объект, расположенный ближе или дальше будет размыт, причем, если объект расположен ближе расстояния до объекта в фокусе, то погрешность будет больше. Как показали данные этого исследования, при расстоянии до объекта, находящимся в фокусе - 0,5 м и реальном расстоянии до объекта – 2 м погрешность нахождения равна 2%, при расстоянии до объекта, находящимся в фокусе – 1 м – 3%, при расстоянии до объекта, находящимся в фокусе – 7 м – 50%.

Для нахождения величины размытия в работе [8] в качестве основной области исследования предлагается использовать не всю площадь объекта, а только его угловые границы, т.е. области в которых сходится изображение объекта и окружающей картины в двух направлениях, что повышает эффективность исследования данных зон по сравнению с областями, в которых объект граничит с фоном только в одном направлении. Параметры движение объекта оцениваются в локальных областях, при этом учитывается неравномерность размытия объекта по разным направлениям, поэтому данный алгоритм предлагается использовать даже в случае вращения камеры или самого объекта. В большинстве работ по данному направлению [7-10] форма интересующего объекта является величиной постоянной, хотя эта гипотеза существенно зависит от траектории движения объекта и от ракурса его воспроизведения видеодетектором. Поэтому в общем случае нельзя считать форму объекта постоянной, равно как и его геометрические размеры, поэтому в данной работе наряду с объектом вводится понятие его границы, по которой можно будет легче определить параметры всего изображения.

В настоящей работе определяется расстояние до объекта через определение его размытия при регулировке фокусного расстояния [7-9], выдержки и диафрагмы [10-12]. При этом разрабатывается комплексная методика определения параметров статичного объекта на основе использования алгоритмов детектирования размытия изображений объекта, которая может быть модернизирована и обобщена на случай движения объекта по разным траекториям и с разной скоростью [13-15].

В качестве определяющего соотношения, связывающего основные параметры фотодетектора и расположения объекта в экспозиции предлагается использовать соотношение [1]

$$\frac{1}{f}=\frac{1}{D_{ob}}+\frac{1}{D_{fip}}, \qquad (1)$$

где f – фокусное расстояние, D_{ob} – расстояние от выбранной точки объекта до объектива фотокамеры, D_{fip} – расстояние между центром объектива и сфокусированным изображением наблюдаемого объекта.

Соотношение (1) необходимо разрешить для заданного фокусного расстояния относительно пары значений D_{ob} и D_{fip}, по рис. 1 видно, что модель и характеристики реальных фотодетекторов могут существенно отличаться, для их увязки предлагается использовать коэффициент масштабирования

$$M=\frac{D_{fip}}{D_{ob}}=\frac{L_{im}}{L_{ob}}, \qquad (2)$$

где L_{im} – размер изображения объекта на CCD матрице, L_{ob} – фактический размер объекта.

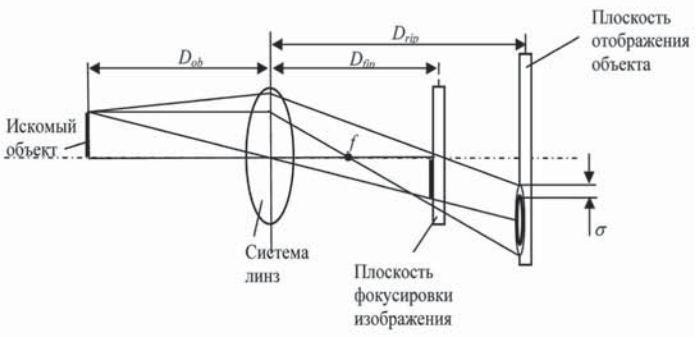

Рис. 1. Схема выполнения оценки глубины изображения, с использованием размытия из-за расфокусировки для случая $D_{rip} \geq D_{fip}$

Величина $D_{fip} + D_{ob}$ является инвариантной для различных настоек фотодетектора и может представлять собой дополнительное граничное условие.

Для определения размытия объекта (диаметра пятна размытия или дисперсия) предлагается использовать соотношение [5]

$$\sigma = \frac{B}{D_{fip}} \left| D_{rip} - D_{fip} \right|, \quad (3)$$

где σ – величина размытия объекта, *B* – величина апертуры, D_{rip} – расстояние от центра объектива до плоскости в которой находится объект. Определение расстояние D_{fip} может проводиться по двум выражениям, в зависимости от расположения плоскости фокусировки (рис. 1)

$$D_{rip} = D_{fip} \pm \frac{D_{fip}\sigma}{B}, \quad (4)$$

знак «+» применяется при $D_{rip} \geq D_{fip}$, знак «-» соответствует $D_{rip} < D_{fip}$.

Если в соотношениях (2) – (4) учитывать заранее устанавливаемые величины, например, фокусное расстояние фотодетектора, то можно записать

$$D_{fip} = \frac{f \cdot D_{ob}}{D_{ob} - f}. \quad (5)$$

Используя выражение (4) можно вычислить расчетное расстояние от точки детектирования до объекта исследования

$$D_{cob} = \frac{f \cdot D_{rim}}{D_{rim} - f}. \quad (6)$$

В общем случае использования предлагаемой методики, без использования разности размытий для различных цветов, расстояние от детектора до объекта, находящегося вне фокуса, при условии, что расстояние до объекта в фокусе известно, будет определяться по следующей формуле:

$$z = \frac{Dpf}{(D+d)f - dp}, \quad (7)$$

где z – искомое расстояние до объекта, *f* – фокусное расстояние, *p* – расстояние до объекта, находящегося в фокусной точке, *D* – диаметр линзы, *d* – диаметр пятна размытия (считается, что размытие в точке происходит одинаково во всех направлениях).

Границы размытости зависят от числа диафрагмы *f*/*D* используемой камеры: чем выше число диафрагмы, тем меньше света попадает на матрицу камеры, и площадь круга изменяется пропорционально квадрату его радиуса [2-4].

Размытие можно представить в виде пограничного слоя между объектом и фоном, условие принадлежности каждого пикселя изображению объекта можно представить в виде:

$$\left| 1 - \frac{\left| I(x,y+1) - I(x,y) \right|}{\left| I(x,y) - I(x,y-1) \right|} \right| < 0.05 \quad (8)$$

или в виде

$$0.95\left|I(x,y) - I(x,y-1)\right| < \left|I(x,y+1) - I(x,y)\right| < 1.05\left|I(x,y) - I(x,y-1)\right|,$$

где *x* и *y* координаты рассматриваемых пикселей относительно декартовых координатных осей.

Согласно этому условию, если при сравнении соседних пикселей, разница составляет более чем 5%, то в этом случае считается, что это или пограничный слой или уже другой объект, если же цвет пикселя отличается менее чем на 5%, то идентифицируется прежний объект. Имеет смысл установить порог чувствительности для цвета фона и цвета объекта $\mu_{фон}$ и $\mu_{об}$. При использовании классической модели RGB общую интенсивность цвета пре переходе между двумя соседними пикселями можно представить в виде:

$$\begin{aligned} \left|I(x,y) - I(x,y-1)\right| = \left|R(x,y) - R(x,y-1)\right| + \\ + \left|G(x,y) - G(x,y-1)\right| + \left|B(x,y) - B(x,y-1)\right| \end{aligned}, \quad (9)$$

здесь функции *R*(*x*,*y*), *G*(*x*,*y*), *B*(*x*,*y*) определяют в выбранной точке изображения интенсивность красного, зеленого и синего цвета соответственно.

Основываясь на представленной методике можно составить карту глубины изображения, в случае наличия многих объектов на изображении, его можно первоначально сегментировать на отдельные области-фреймы.

Используя предлагаемый подход, определим расстояние до исследуемых объектов прямоугольной и круглой формы и их размытие путем анализа серии изображений, полученных с помощью фотодетектора с различными настройками (некоторые из них приведены на рис. 2).

Для нахождения точности определения расстояния до объекта по его размытию надо узнать значение дифракционного размытия всего изображения, если размеры пикселя больше дифракционного размытия изображения, то кадр получается с отличной резкостью, этот факт позволяет оценить размытие отдельного объекта относительно общей размытости кадра. Вычисление разности цветов позволяет устранять влияние общего размытия изображения, появляющегося вследствие наличия технических погрешностей и несовершенств аппаратуры и алгоритмов обработки.

Фокусные расстояния используемой линзы для разных цветов определяются опытным путем [6,7]. При использовании такого подхода некоторые сложности могут возникнуть с определением оценки размытия изображения, для этого обычно используется гауссовское или равномерное распределение. Диаметр размытия границы объекта определяется по формуле: $\Delta x_r = \Delta X_R * Sx$, ΔX_R – диаметр размытия границы объекта, измеренный в пикселях; *Sx* – размер пикселя CCD матрицы используемой камеры [1].

Размер пикселя CCD матрицы рассчитывается через пропорцию с учетом размеров получаемого кадра в пикселях (в нашем случае, это 4608 x 3072 пикселей или число эффективных пикселей для используемого фотоаппарата – 14,2 Мпикс) и размеров самой матрицы используемой камеры в мм (в нашем случае, использовался фотоаппарат Nikon D3100, размеры матрицы которого равны 15,4 x 23,1 мм), а также с учетом того, что пиксель – квадратный, $S_x = \sqrt{15,4мм \cdot 23,1мм / (4608пикс \cdot 3072пикс)} = 5 \cdot 10^{-6} м$).

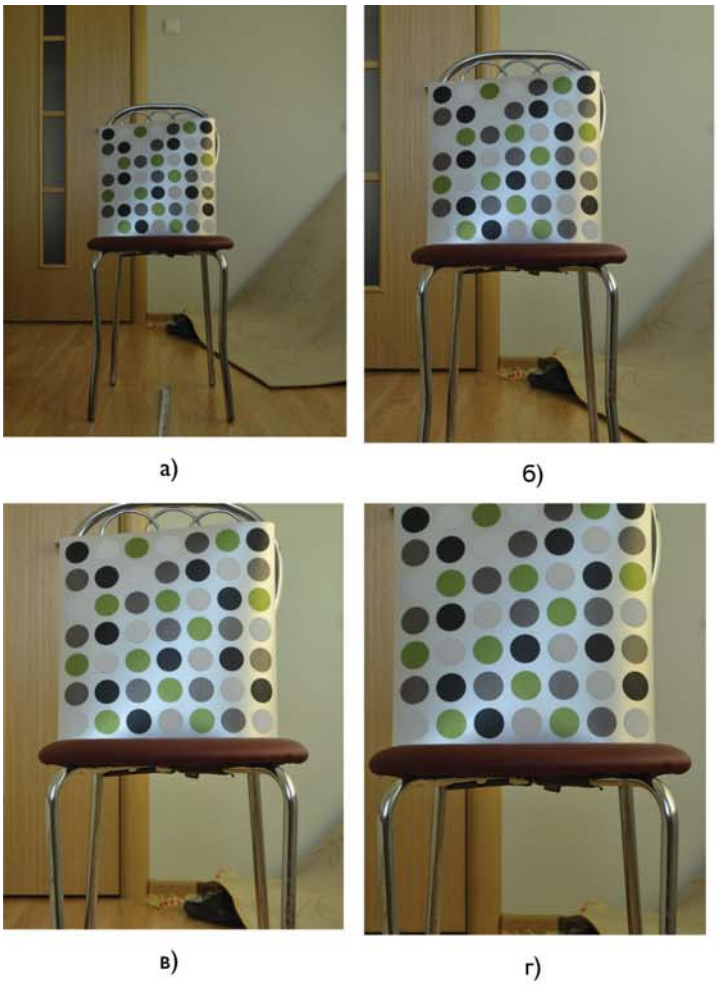

Рис. 2. Изображения, полученные с помощью фотокамеры, при различных фокусных расстояниях: а) 24 мм; б) 35 мм; в) 45 мм; г) 55 мм

Для Nikon D610 размеры получаемого кадра в пикселях составляют 6016 x 4016 пикселей, размеры матрицы равны 35.9 x 24 мм, откуда

$$S_x = \sqrt{35{,}9мм \cdot 24мм / (6016пикс \cdot 4016пикс)} = 5{,}9 \cdot 10^{-6} м).$$

На рис. 3 приведены зависимости размытия как функции расстояния до объекта при фокусном расстоянии 1 м, сплошной линией показана зависимость, полученная по формуле (3) с использованием поцветовой оценки размытия (8), пунктирная линия вычислена согласно соотношению (3) без учета разности размытия отдельных цветов изображения объекта, кружками изображены точки, полученные при проведении экспериментальных исследований по методике [1].

На рис. 3 видно, что с расстояния 3 метра между фотодетектором и объектом растет разность между результатами теоретических (по традиционной и предлагаемой методикам) и эмпирических исследований, что напрямую влияет на точность определяемого расстояния. Для увеличения точности измерения больших расстояний необходимо подбирать нужные соотношения между фокусным расстоянием, выдержкой, диафрагмой, а также базой между двумя детекторами.

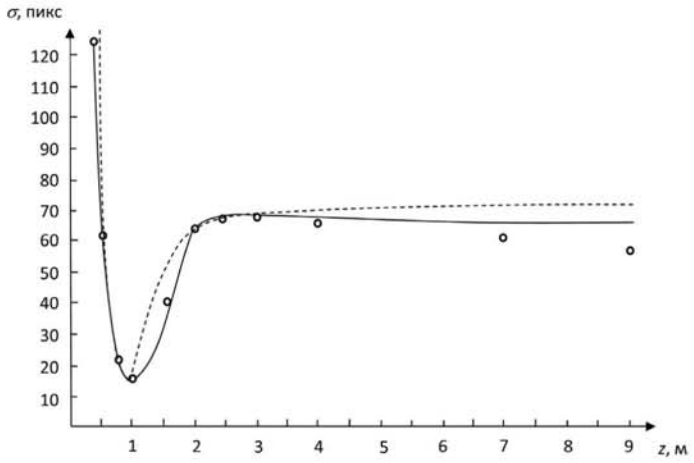

Рис. 3. Зависимость размытия от расстояния до объекта

Используемая методика на примере решаемых численных задач хорошо себя показала при определении расстояний до статичных объектов, построенные графики дают количественное представление увеличения погрешности при вычислении расстояний до искомых элементов. Точка излома на кривой зависимости размытия (дисперсии) от расстояния до объекта (рис. 3) говорит о разнице в образовании пятна расфокусировки до и после фокусной точки, связанной с наличием модуля в определяющем выражении (3).

При этом скорость увеличения погрешности при удалении от фокусного расстоянии, меньше чем при определении расстояний меньших фокусного. В целом точность определения расстояния зависит от фокусного расстояния, выдержки, числа диафрагмы, светосилы, гиперфокального расстояния и других параметров съемки, а также от внешних характеристик среды, а также геометрических и кинематических параметров самого объекта, но для более точного определения параметров изучаемого объекта рекомендуется получать его изображение при различных настройках видео- или фотодетектора, а затем оценивать динамику изменения тех или иных визуальных характеристик. Сравнение размытия изображения объекта, полученного при разных настройках детектора (диафрагма, фокусное расстояние) позволяет получить дополнительную информацию о форме и размерах объекта, расстоянии до него, скорости и направлении движения.

Реальное расстояние до объекта в момент фотографирования мишени (рис. 2) 3,5 м, при использовании традиционной методики определения расстояния по размытию (1) – (7) получаем расстояние равное 4,6 м, при использовании же предлагаемого подхода с оценкой размытия отдельно по основным цветам (1) – (7), с учетом (8) и (9), определяемое расстояние составляет 3,8 м.

Как показали численные исследования, предлагаемые в работе вычислительные алгоритмы и математические модели лучше существующих теоретических методов позволяет определить расстояние до объекта, а также могут быть использованы для определения других параметров состояния или поведения объекта. Описанные вычислительные схемы и методы могут быть реализованы при детектировании как различных статичных и подвижных объ-

ектов при неподвижной системе видео- и фотофиксации (распознавание людей, транспортных средств и т.д.), так и разных неподвижных объектов при двигающейся системе получения изображений (аэрофотосъемка, работа путеизмерительных тележек при мониторинге железнодорожного пути и т.д.).

Литература

1. *Alexiev K., Nikolova I., Zapryanov G.* 3D scenes recovery through an active camera based on blur assessment of the resulting image, Information technologies and control, No. 3-4, 2008, pp. 10-20.

2. *Chu C.W., S Hwang and S.K. Jung.* Calibration-free approach to 3-D reconstruction using light stripe projections on a cube frame. In Proceeding of IEEE 3rd International conference on 3-D digital imaging and modeling, Quebec City, QC, Canada, June 2001, pp. 13-19.

3. *Trucco, E., A. Verri.* Introductory Techniques for 3-D Computer Vision. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall 1998.

4. *Chu, C. W., S. Hwang and S. K. Jung.* Calibration-Free Approach to 3-D Reconstruction using Light Stripe Projections on a Cube Frame. In Proceedings of IEEE 3rd International Conference on 3-D Digital Imaging and Modeling, Quebec City, QC, Canada, June 2001, 13-19.

5. *Li, Y. F. and S. Y. Chen.* Automatic Recalibration of an Active Structured Light Vision System. – *IEEE Transactions on Robotics and Automation,* 19, April 2003, No. 2, pp. 259-268.

6. *Huei-Yung Lin, Kun-Jhih Li, Chia-Hong Chang.* Vehicle speed detection from a single motion blurred image, Image and Vision Computing 26, 2008. P. 1327–1337.F.Deschenes, D.Ziou, P.Fuchs. Enhanced Depth from Defocus Estimation: Tolerance to Spatial Displacements.

7. *Lelegard L., Vallet B., Bredif M.* Multiscale Haar transform for blur estimation from a set of images. International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science, Munich, Germany, October 5-7, 2011, pp. 65-70.

8. *Tayebeh Rajabzadeh.* Static Object Depth Estimation Using Defocus Blur Levels Features. International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing – WiCom, Chengdu, 23-25 Sept. 2010, pp. 1-4.

9. *Borachi G., Caglioti V.* Motion blur estimation at corners. Computer Vision Theory and Applications – VISAPP, 2008, pp. 389-395.

10. *Rooms F., Pizurica A., Philips W.* Estimating image blur in the wavelet domain. Procceding of the Firth Asian Conference on Computer Vision, 2002, pp. 210-215.

11. *Tiago Gaspar, Paulo Oliveira* New Dynamic Estimation of Depth From Focus In Active Vision Systems. Abstract of the VISAPP, 2011, paper Nr:110.

12. *Kayton B. Parekh.* A Computer Vision Application to Accurately Estimate Object Distance. Honors Project. Mathematics, Statistics and Computer Science. 4.20.2010. 109 p.

13. *Muljowidodo K, Rasyid MA, SaptoAdi N,* et al. Vision based distance measurement system using single laser pointer design for underwater vehicle. In *Indian Journal Of Marine Sciences*, 2009. ISSN 0379-5136.

14. *Соколов С.М., Богуславский А.А., Васильев А.И., Трифонов О.В., Назаров В.Г., Фролов Р.С.* Мобильный комплекс для оперативного создания и обновления навигационных карт // Известия Южного федерального университета. Технические науки. 2011. – Т. 116. – № 3. – С. 157-166.

15. *Девятериков Е.А., Михайлов Б.Б.* Система технического зрения для измерения пути мобильного робота // Механика, управление и информатика, 2012. – № 8. – С. 219-224.

THE DEFINITION OF GEOMETRIC PARAMETERS OF THE OBJECT BY ANALYZING A SERIES OF IMAGES

Loktev D.A., *Moscow, Russia,* ***loktevdan@yandex.ru***

Abstract

The main aim of this paper is to modify the method of determining geometric characteristics of static or movable object by examining its images. The relevance of the topic of the presented research is connected with the necessity of increasing the speed of processing information about the state of the moving object to improve the management of infrastructure, traffic and passengers, systems monitoring and management, as well as from the point of view of integrated security systems in public areas, transportation facilities, etc. Here developed a complex method of determining parameters of a static or moving object, based on the use of algorithms for the estimation of the blur of the object image into three primary color component of RGB. Numerical studies have shown that the proposed method is better than existing methods of determining parameters of an object from its image allows to determine the distance to the desired item. The blurred image of the object requested in the form of a boundary layer between the object and the background, the authors formulate the condition for membership of each pixel to the image object, set the sensitivity threshold for the background color and the color of the object. When using classic color model the overall intensity of the color transition between two neighboring pixels is written as a superposition of the intensities of the individual colors. Numerical studies have shown that starting from a certain distance from the photodetector to the object increases, the difference between the results of theoretical (traditional and proposed methods) and empirical investigations; however, we offer a comprehensive technique gives results closest to the experimental. Developed computational schemes and methods based on the use of algorithms for detecting a blur of the object image can be adapted to the case of movement of the object along different paths and at different speeds.

Keywords: *system for video and photofixation, the spot diameter of the blur focal distance, the plane of focus of the image, the RGB model, the number of the diaphragm, the determination of the distance, the accuracy of the calculations.*

References

1. *Alexiev K., Nikolova I., Zapryanov G.* 3D scenes recovery through an active camera based on blur assessment of the resulting image, Information technologies and control. No. 3-4, 2008, pp. 10-20.
2. *Chu C.W., S Hwang and S.K. Jung.* Calibration-free approach to 3-D reconstruction using light stripe projections on a cube frame. In Proceeding of IEEE 3rd International conference on 3-D digital imaging and modeling, Quebec City, QC, Canada, June 2001, pp. 13-19.
3. *Trucco, E., A. Verri.* Introductory Techniques for 3-D Computer Vision. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall 1998
4. *Chu, C.W., S. Hwang and S.K. Jung.* Calibration-Free Approach to 3-D Reconstruction using Light Stripe Projections on a Cube Frame. In Proceedings of IEEE 3rd International Conference on 3-D Digital Imaging and Modeling, Quebec City, QC, Canada, June 2001, pp. 13-19.
5. *Li Y.F. and Chen S.Y.* Automatic Recalibration of an Active Structured Light Vision System. IEEE Transactions on Robotics and Automation, 19, April 2003. No. 2, pp. 259-268.
6. *Huei-Yung Lin, Kun-Jhih Li, Chia-Hong Chang.* Vehicle speed detection from a single motion blurred image, Image and Vision Computing 26, 2008, pp. 1327-1337.F.Deschenes, D.Ziou, P.Fuchs. Enhanced Depth from Defocus Estimation: Tolerance to Spatial Displacements.
7. *Lelegard L., Vallet B., Bredif M.* Multiscale Haar transform for blur estimation from a set of images. International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science, Munich, Germany, October 5-7, 2011, pp. 65-70.
8. Tayebeh Rajabzadeh. Static Object Depth Estimation Using Defocus Blur Levels Features. International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing – WiCom , Chengdu, 23-25 Sept. 2010, pp. 1-4.
9. *Borachi G., Caglioti V.* Motion blur estimation at corners. Computer Vision Theory and Applications VISAPP, 2008, pp. 389-395.
10. *Rooms F., Pizurica A., Philips W.* Estimating image blur in the wavelet domain. Procceding of the Firth Asian Conference on Computer Vision, 2002, pp. 210-215.
11. *Tiago Gaspar, Paulo Oliveira.* New Dynamic Estimation of Depth From Focus In Active Vision Systems. Abstract of the VISAPP, 2011, paper Nr:110.
12. *Kayton B. Parekh.* A Computer Vision Application to Accurately Estimate Object Distance. Honors Project. Mathematics, Statistics and Computer Science. 4.20.2010. 109 p.
13. *Muljowidodo K., Rasyid M.A., SaptoAdi N., et al.*: Vision based distance measurement system using single laser pointer design for underwater vehicle. In Indian Journal Of Marine Sciences, 2009. ISSN 0379-5136.
14. *Sokolov S.M., Boguslavsky A.A., Vasil'ev A.I., Trifonov O.V., Nazarov V.G., Frolov R.S.* Mobile complex for rapid creation and updating navigation maps. Southern Federal University. Technical sciences. 2011. Vol. 116. No. 3, pp. 157-166. (*in Russian*).
15. *Devyaterikov E.A., Mihailov B.B.* Vision systems for the measurement path of the mobile robot. Mechanics, management and computer science. 2012. No. 8, pp. 219-224. (*in Russian*).

Information about authors: *Loktev Daniil Alexeevich, post graduate student, Department "Information systems and telecommunications", Moscow state technical university m. N.E. Bauman, Moscow, Russia.*

О ВЛИЯНИИ НЕНОРМИРОВАННЫХ ПАРАМЕТРОВ АКУСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ И ШУМОВ НА ЧЕЛОВЕКА

Рысин Юрий Соломонович,
профессор, к.т.н., доцент,
ФГОБУ ВПО МТУСИ, Москва, Россия,
yuryrys@mail.com

Ключевые слова: *глубина изрезанности спектра, акустические сигналы, крутизна нарастания и спада спектра, отрицательное воздействие на человека, неравномерность спектра.*

Исследована взаимосвязь различных психофизиологических состояний людей и ненормируемых параметров акустических сигналов и шумов такими как: крутизна атак; глубина изрезанности спектра; крутизна нарастания и спада спектра на октаву; значения инфранизких ритмических частот. Исследования показали, что акустические сигналы и шумы, которые имеют сильно изрезанный текущий спектр с сильно выраженным уровнем крутизны нарастания и спада спектра отрицательно воздействуют на человека. Введены поправки на: крутизну атаки шумового процесса; глубину изрезанности спектра и крутизну нарастания/спада шумового процесса. Величины поправок находятся в пределах 3-5 дБ и должны суммироваться с результирующими значениями уровня шума. Исследования показали, что акустические сигналы и шумы, которые имеют сильно изрезанный текущий спектр с сильно выраженным уровнем крутизной нарастания и спада спектра более отрицательно воздействуют на человека по сравнению с сигналами со сплошным спектром и равномерным приростом крутизны нарастания и спада спектра. Причем область изрезанности спектра наблюдается практически в большей части спектра. Исследования ненормированных параметров акустического шума и сигнала показали, что их условно можно разделить на раздражающие и нейтральные. Шумовые процессы воспринимаются слушателем как наиболее неприятные при следующих условиях: крутизна передних фронтов как правило, увеличивается; спектральные характеристики шумов с негативным воздействием отличаются большей широкополосностью, глубиной изрезанности спектра и крутизной нарастания и спада спектра.

Для цитирования:
Рысин Ю.С. О влиянии ненормированных параметров акустических сигналов и шумов на человека // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2015. – Том 9. – №5. – С. 54-56.

For citation:
Rysin Yu.S. Nonstandardized parameters of acoustic signals and noises affecting a per person. T-Comm. 2015. Vol 9. No.5, pp. 54-56. (*in Russian*).

Акустические сигналы содержат смысловую и неосознаваемую информацию и вызывают различные психофизиологические состояния человека [1, 2, 3, 4]. Это подтверждается исследованиями взаимосвязи различных психофизиологических состояний людей с нижеследующими ненормируемыми параметрами акустических сигналов: крутизна атак акустических сигналов и шумов $L_{кр.а}$., дБ/с; глубина изрезанности спектра акустических сигналов и шумов $M_{сп}$, %; крутизна нарастания и спада спектра на октаву $L_{кр.сп}$. дБ/октава; значения инфранизких ритмических частот.

Крутизна это отношение разности максимального и минимального уровней на интервале нарастания (спада) огибающей к длительности нарастания (спада) огибающей.

В результате анализа восприятия человеком различных звуковых раздражителей обоснованы и введены следующие нулевые пороги ненормированных параметров шума:

Нулевой порог крутизны атаки сигнала определится по формуле:

$$K_{a0} = \Delta L / \Theta, \quad (1)$$

где Θ – минимально ощутимая длительность восприятия сигнала, Θ = 50 мс (0,05 с); ΔL – минимальный перепад уровней звука, который ощущает человек, ΔL = 1 дБ.

Тогда, нулевой порог крутизны атаки определяется выражением K_{a0} = 1 / 0,05 = 20 дБ/с., а нулевой порог крутизны нарастания или спада спектра равен $K_{сп0}$ =1 дБ/октава.

С помощью разработанного в МТУСИ контрольно-измерительного комплекса [6], получены результаты измерения ненормированных, модуляционных характеристик акустических сигналов и шумов, связанных со звуковым сопровождением программ ТРВ (ритмические параметры, форма огибающей спектральные параметры и др.). Для примера, в таблицах 1-4 приведены некоторые результаты исследований.

Исследования показали, что акустические сигналы и шумы, которые имеют сильно изрезанный текущий спектр $M_{сп}$ с сильно выраженным уровнем крутизной нарастания и спада спектра $L_{кр.сп}$ более отрицательно воздействуют на человека по сравнению с сигналами со сплошным спектром и равномерным приростом крутизны нарастания и спада спектра. Глубина изрезанности исследованных спектров (модуляции) превышает 50-60%, а крутизна нарастания и спада спектров достигает 20-30 дБ/октаву. Причем область изрезанности спектра наблюдается практически в большей части спектра (в 4-5 октавах). Надо отметить, что спектр дождя также имеет изрезанный характер, однако глубина этой изрезанности (модуляции) не превышает 30%, что в совокупности с незначительными уровнями шумового процесса на человека действует успокаивающе.

Таблица 1

Характер воздействия акустических сигналов на человека в зависимости от уровня крутизны атаки

Звуковой материал	Уровень крутизны атаки, $L_{кр.а}$ дБ/с	Характер воздействия
Воздушный транспорт	110-120	раздражает
Домашние звуки, звонки, удары	100-110	раздражает
Наземный транспорт	90-100	раздражает
Природа, люди, животные	80-90	нейтральное
Спокойная музыка, проточная вода, дождь	40-60	успокаивает

Усреднённое значение крутизны атаки $L_{m\cdot кр.а.}$ за период времени T определяется по формуле

$$L_{m\ кр.а} = 10\ \lg\left\{\frac{1}{T}\int_0^T 10^{0,1\,L_{кр.а}}\,dt\right\},\ \text{дБ/с} \quad (2)$$

где $L_{кр.а}$ – измеренный уровень крутизны атаки звука за время усреднения T.

Эквивалентный уровень длительного шума L_m с учетом поправки на крутизну атаки $\Delta_{кр.а}$. рассчитывается по формуле

$$L_{A\,экв} = 10\,lg\left\{\frac{1}{T}\int_0^T 10^{0,1\cdot\left[L_A(t)+\Delta_{кр.а}\right]}dt\right\},\ \text{дБА} \quad (3)$$

Если шум имеет непостоянный характер, то его рассчитывают по формуле

$$L_{A\,экв} = 10\,lg\left\{\frac{1}{T_B}\sum_{j=1}^{m} t_j\left[10^{0,1\cdot\left[L_{m,j}+\Delta_{кр.а,j}\right]}\right]\right\},\ \text{дБА} \quad (4)$$

где $LA_{экв}$ – эквивалентный уровень, дБА, т.е. уровень постоянного шума в регламентируемый промежуток времени $T_в$, воздействие которого соответствует воздействию фактического шума с переменным уровнем, измеренным по характеристике А; $T_в$ – регламентируемый промежуток времени, т.е. время усреднения; t_j – продолжительность воздействия j отрезка времени, т.е. отрезок регламентируемого промежутка времени $T_в$, на котором определен усредненный уровень шума $L_{m,j}$; $\Delta_{кр.а,j}$ – поправка на крутизну атаки; m – количество отрезков времени.

Величина поправки $\Delta_{кр.а}$ зависит от времени регистрации шума и от значения самой крутизны атаки $L_{кр.а}$. Как показали исследования величина поправки на крутизну атаки должна быть тем больше, чем короче шумовой процесс (например, импульсы) и, чем меньше время усреднения процесса. Значения поправки $\Delta_{кр.а}$. по аналогии с поправками на импульсный и тональный шум [5] приведены в табл. 3.

Таблица 2

Характер воздействия акустических сигналов (шумов) на человека в зависимости от вида текущего спектра

Характер звукового материала	Максимальная глубина изрезанности спектра $M_{сп}$, %	Максимальная крутизна спектра $L_{кр.сп}$, дБ/октава	Характер воздействия
Дверной звонок	50-70	30-50	Раздражает
Милицейская сирена	40-60	30-40	Раздражает
Звук сонара	50-70	30-50	Раздражает
Трещётка	70-80	30-40	Раздражает
Поезд	30-40	10-20	Раздражает (в поезде успокаивает)
Машинный зал	10	10-20	Утомляет
Автоматическое оружие	50-60	30-40	Раздражает
Дождь	30	10	Успокаивает
Тиканье часов	30	10	Успокаивает

Акустический сигнал и шум имеет, как правило, непрерывно изменяющиеся форму и состав спектра. Эти спектры могут быть дискретными (гармоническими и тональ-

ными), сплошными и смешанными, высокочастотными и низкочастотными. Для процессов, ограниченных во времени, введено понятие текущего и мгновенного спектра. Спектральная плотность G_0 (обозначение спектральной плотности) это интенсивность звука в полоске частот шириной в 1 Гц [2].

Учитывая тот факт, что действие акустического сигнала или шума на человека сильно зависит от вида текущего спектра, необходимо ввести поправку $\Delta_{сп}$ к вычислению спектрального уровня звука B_k, тогда формула (6) примет вид

$$B_k = 20\lg(p_{окт}/p_0) - 10\lg \Delta f_{окт} + \Delta_{сп}, дБ \quad (5)$$

где $\Delta_{сп}$ поправка на характер текущего спектра сигнала или шума, дБ.

Величину поправки $\Delta_{сп}$, по аналогии с поправками на тональный или импу-льсный характер шума, принятыми в[5], примем равной 5 дБ. (табл. 4).

Тогда суммарный уровень звука L_Σ определяется по формуле

$$L_\Sigma \approx 10 \lg \sum_{k=1}^{n} \{10^{0,1B_k}\} \cdot \Delta f_k \ . \quad (6)$$

Таблица 3

Величина поправки на крутизну переднего фронта

Величина крутизны атаки $L_{кр.а}$, дБ/с	Время измерения шумового процесса t, с.	Величина поправки $\Delta_{кр.а}$, дБ
60-80 и более	До 5	5
10 и более	Более 5	3

Исследования ритмичности различных акустических сигналов и шумов, сравнивались с данными отражающими биоритмы головного мозга и показали, что опасными являются гармоники с частотами 4-7 Гц (θ-диапазон). Однако, мощности этих гармоник незначительны.

Исследования ненормированных параметров акустического шума и сигнала показали, что их условно можно разделить на раздражающие и нейтральные. Шумовые процессы воспринимаются слушателем как наиболее неприятные при следующих условиях: крутизна передних фронтов $L_{кр.а}$, как правило, увеличивается; спектральные характеристики шумов с негативным воздействием отличаются большей широкополосностью, глубиной изрезанности спектра $M_{сп}$ и крутизной нарастания и спада спектра $L_{кр.сп}$;

Таблица 4

Величина поправки на характер спектра шумового процесса

Максимальная глубина изрезанности спектра $M_{сп}$, %	Максимальная крутизна спектра $L_{кр.сп}$, дБ/октава	Количество октав-ных полос с изрезанностью спектра	Время регистрации процесса, t, с	Величина поправки $\Delta_{сп}$, дБ
60 и более	20-30 и более	4-5 и более	До 5	5
При невыполнении какого-либо пункта на 50 %				3

Поправка $\Delta_{кр.а}$ на крутизну атаки $L_{кр.а}$. шумового процесса., поправка $\Delta_{сп}$ на глубину изрезанности спектра $M_{сп}$ и крутизну нарастания (спада) шумового процесса $L_{кр.сп}$ должны суммироваться с результирующими значениями уровня шума. Величины поправок $\Delta_{кр.а.}$ и $\Delta_{сп}$, находятся в пределах 3-5 дБ.

Литература

1. *Рысин Ю.С.* Социально-информационные опасности телерадиовещания и информационных технологий. – М.: Издательство «ГЕЛИОС АРВ», 2007. – С. 270.
2. *Попов О.Б., Рысин Ю.С.* Основы физической акустики. – М.: СУДЭКС, 2010. – С. 240.
3. *Абрамов В.А., Венедиктов М.Д., Рысин Ю.С.* Негативные инфра низкочастотные воздействия сигналов телерадиовещания // Труды НТК ППС МТУСИ. – М., 2002. – С.186-187.
4. *Абрамов В.А., Попов О.Б., Рысин Ю.С.* Телерадиовещание и информационная зависимость // Тезисы докладов 12 ой Всероссийской НТК «Современное телевидение». – М.: МКБ «Электрон», март 2004. – С 25-28.
5. ГОСТ 12-1.003. ССБТ. Шум. Общие требования безопасности. М., Госстандарт, 2013.
6. *Рихтер С.Г., Петрова Г.А., Попов О.Б.* Вопросы измерений эмоциональной информативности сигнала в трактах звукового вещания // Метрология и измерения в технике связи, 2000. – №1. – С.39-40.

NONSTANDARDIZED PARAMETERS OF ACOUSTIC SIGNALS AND NOISES AFFECTING A PER PERSON

Rysin Yu.S., *Moscow, Russia,* ***yuryrys@mail.com***

Abstract. The interrelation of various psycho physiological states of people and not normalized parameters of acoustic signals and noises such as the slope of the attacks; depth irregularity spectrum; steepness of the rise and fall of the spectrum octave; values infralow rhythmic frequencies was studied. Research have shown that the acoustic signals and noises that are highly rugged current spectrum with a strong level of steepness of the rise and fall of the spectrum adversely affect the person. Corrections for: steepness attack noise process; depth irregularity spectrum and the slope up / down the noise process were made. The corrections are within 3 - 5 dB must be added to the resulting value of the noise level.

Keywords: *depth irregularity spectrum, acoustic signals, steepness of the rise and fall of the spectrum, adversely affect the person, irregularity spectrum.*

References

1. *Rysin Y.S.* Socio-hazard information broadcasting and information technology. Moscow. Publisher "HELIOS ARV". 2007, pp. 270. (*in Russian*).
2. *Popov O.B., Rysin Y.S.* The basics of physical acoustics. Moscow. "CUDEKS", 2010, pp. 240. (*in Russian*).
3. *Abramov V.A., Venediktov M.D., Rysin Y.S.* The negative impact of low-frequency infrared signals broadcasting. Proceedings of the NTC PPP MTUCI. Moscow. 2002, pp.186-187. (*in Russian*).
4. *Abramov V.A., Popov O.B., Rysin Y.S.* Broadcast and informational dependence. Abstracts 12 th All-NTK "Current TV", Moscow. MKB "Electron", March 2004, pp. 25-28. (*in Russian*).
5. Standard 12-1.003. SSBT. Noise. General safety requirements. Moscow. State Standard, 2013. (*in Russian*).
6. *Richter S.G. Petrova G.A., Popov O.B.* Questions measuring emotional informativeness of signal paths audio broadcasting. Metrology and measurement in communications technology. 2000. No. 1, pp. 39-40. (*in Russian*).

СПОСОБ МОДЕРНИЗАЦИИ SFN DVB-T

Школьный Станислав Игоревич,
аспирант кафедры ЭиСС ДВФУ,
ФГОБУ ВПО МТУСИ, Москва, Россия,
nimagt@gmail.com

Ключевые слова: *OFDM, цифровое телевидение, DVB-T, одночастотные сети, оптимизация, метаэвристические алгоритмы.*

Проектирование и модернизация одночастотных сетей представляет собой нетривиальную задачу. Увеличение размеров зоны покрытия и решение проблемы теневых зон не могут быть достигнуты простым увеличением мощности передатчика либо увеличение высоты подвеса антенны, так как в этом случае увеличивается перекрытие зон обслуживания соседних передатчиков и снижаются качественные характеристики сигнала в этих зонах. Представлены теоретические и практические аспекты одного из способов модернизации SFN DVB-T. Рассмотрены особенности моделирования одночастотных сетей DVB-T. Предложена модель одночастотной сети вещания, состоящая из четырех блоков: модель распространения радиоволн, модель передающей станции, модель приемной станции, геоинформационная система. В качестве модели распространения радиоволн предполагается использовать модель Лонгли-Райса и ее модификации, которые обеспечивают удовлетворительную точность для условий сложного рельефа и плотной городской застройки. Подробно рассмотрена модель приемной станции. Приведены формулы, которые позволяют достоверно оценить характеристики сигнала в том случае, когда на приемную антенну поступает несколько копий сигнала от разных передатчиков. Предложена целевая функция, позволяющая количественно оценить конфигурацию сети с точки зрения оптимальности. Для повышения качества предлагаемого решения, в целевую функцию введены весовые коэффициенты, учитывающие тип подстилающей поверхности. Обсуждаются особенности программного комплекса, реализующего представленную методику модернизации сети. Приведена обобщённая схема программного комплекса, обсуждаются основные детали его реализации. Проведена верификация программного комплекса по данным измерений сети DVB-T города Владивостока, а так же по данным, полученным в ПО RadioMobile. Проведены эксперименты по оптимизации зоны обслуживания Владивостокской сети DVB-T, а так же специально разработанной эталонной сети. При этом было достигнуто увеличение зоны обслуживания на 6-10%, в зависимости от конфигурации сети. Таким образом, была подтверждена работоспособность разработанного комплекса, а так же возможность добиться существенного роста зоны обслуживания при модернизации SFN DVB-T.

Для цитирования:
Школьный С.И. Способ модернизации SFN DVB-T // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2015. – Том 9. – №5. – С. 57-62.

For citation:
Shkolniy S.I. Method of DVB SFN optimization. T-Comm. 2015. Vol 9. No.5, pp. 57-62. (*in Russian*).

Введение

Известно, при планировании многочастных сетей DVB-T могут быть использованы простые модели с регулярным расположением передающих станций и регулярным распределением каналов, так как они лишены большого количества проблем, связанных с синхронизацией передатчиков [1]. Корректное планирование одночастотных сетей (SFN) предполагает обязательный учет взаимного влияния передатчиков синхронной зоны – так называемого эффекта сетевого усиления. Если эффекты сетевого усиления не были в достаточной степени учтены при проектировании сетей, либо практические исследования действующей сети демонстрируют проблемы с приемом в зонах с высоким уровнем сигнала, необходимы работы по оптимизации сети. За счет правильного выбора некоторых параметров сети возможно добиться увеличения размеров зоны обслуживания, а также качества приема внутри зоны без существенных затрат [2].

В работе обсуждаются особенности одного из способов оптимизации существующих SFN DVB-T. Рассматриваются вопросы выбора возможных показателей качества вещания в зоне SFN на основе параметров, изменение которых не потребует существенных капитальных вложений. Обсуждаются особенности программного комплекса, разработанного для выбора оптимального варианта сети.

Моделирование сети DVB-T

Определим цель модернизации действующей SFN DVB-T как повышение эффективности ее работы без существенных капитальных затрат, понимая при этом под эффективностью обобщенный критерий, характеризующий размер зоны обслуживания – процент охвата при заданных численных значениях критерия надежности и качества сигнала в точке приема. Тогда эффективность работы сети будет определяется через совокупность таких параметров, как уровень сигнала, отношение сигнал/шум во всех точках приема. Оценка названных величин, а значит и эффективность работы сети, возможна либо проведением непосредственных полевых измерений, либо методами математического моделирования. Особенности расчета обобщенного критерия эффективности рассмотрим на основе модели эфирной сети вещания, которую можно представить в виде нескольких блоков:

1) Блок моделей прогноза распространения радиоволн, позволяющий рассчитать ослабление радиосигнала на пути от передающий до приемной антенны;

2) Блок модели передающей станции, содержащий связь параметров передающей станции и характеристик радиосигнала в точке вещания

3) Блок модели приемника, определяющий возможность приема сигнала в заданной точке;

4) ГИС – специализированная геоинформационная система – осуществляющая сбор, хранение, обработку и отображение пространственно-распределенной информации, и содержащая ряд существенных с точки зрения распространения радиоволн географических и других данных планируемой зоны обслуживания сети и прилегающих территорий;

Модели распространения радиоволн

На практике для моделирования зоны обслуживания эфирных сетей, в том числе сетей DVB-T2, используются двумерные модели распространения для дальней зоны. Стандартом является модель, изложенная в рекомендациях ITU P.1546 [3]. Рекомендации P.1812 [4] дополняют рекомендации P.1546 и позволяют учесть особенности конкретной трассы. Изложенная в вышеназванных рекомендациях методика является в большей степени компромиссной и не отличается высокой точностью. В том случае, когда профиль трассы определяется одним или несколькими изолированными препятствиями, расчет ослабления сигнала проводится в соответствии с рекомендациями ITU P.526[5]. Данные рекомендации содержат ряд моделей, позволяющих оценить влияние дифракции на ослабление сигнала для различных типов трасс и препятствий. Вышеназванные модели рекомендованы МСЭ, однако список ими не ограничивается [6].

В ряде работ приводятся положительные результаты исследований по возможности использования модели Лонгли-Райса в задачах расчета зон покрытия цифровых передатчиков [6,7]. Данная модель учитывает ослабление в свободном пространстве, дифракционные эффекты, тропосферное рассеивание, что обеспечивает достаточно высокую точность расчета для сложных трасс различной длины. Оригинальная модель Лонгли-Райса имеет два режима использования: точка-область и точка-точка. Первый предполагает использование усредненных параметров, характеризующих нерегулярность рельефа. В режиме точка-область используются точные профили трасс для каждой из расчетных точек приема, что обеспечивает приемлемую точность прогноза для территорий со сложным рельефом. Кроме того, на базе модели Лонгли-Райса была разработана уточненная модель ITWOM[7]. По заявлениям авторов, модель ITWOM обеспечивает повышенную точность прогноза по сравнению с оригинальной моделью. Проведенные натурные измерения характеристик сигнала DVB-T показали, что модель Лонгли-Райса обеспечивает удовлетворительную точность для условий сложного рельефа и плотной городской застройки [8, 9].

Таким образом, для расчета профилей трасс и зон обслуживания в блок моделей распространения радиоволн включены модель Лонгли-Райса в вариантах точка-область и точка-точка, модель ITWOM и методики, изложенные в рекомендациях [10].

В модели передающей станции описываются параметры, существенные для определения напряженности поля и отношения сигнал-шум в точке приема, в том числе географическое положение и мощность передатчика, высота подвеса и диаграмма направленности антенн. Все передатчики DVB-T/T2, работающие в одночастотных сетях, снабжены приемниками GPS/ГЛОНАС, который обеспечивает возможность синхронного вещания передатчиков одной сети. Для каждого передатчика может быть установлена задержка вещания σ_n (далее – предустановленная задержка). Правильный выбор предустановленной задержки позволяет снизить уровень межсимвольной интерференции, повысить качество приема и увеличить зону обслуживания. Обычно выбор величины задержки ограничивается длинной защитного интервала.

Модель приемника, важнейшая составляющая модели сети создание адекватной модели работы которого в одночастотной сети представляет определенные трудности.

Моделирование приемника в многочастотной сети основано на предположении, что основной вклад в напряженность поля на входе приемной антенны вносит единственный сигнал от единственного передатчика, т.е. наличие либо отсутствие приема определяется только уровнем и отношением сигнал-шум наиболее сильного сигнала. Граничные значения этих величин для различных параметров модуляции можно найти в ГОСТе по цифровому телевидению [11].

Работа приемника в одночастотной сети соответствует режиму многолучевого приема, когда на приемную антенну поступает несколько примерно равных по уровню сигналов. Сигналы от разных источников принимаются с различной временной задержкой, что приводит к появлению межсимвольной интерференции (ISI) и деградации сигнала. Система OFDM может эффективно работать в условиях многолучевого приема благодаря введению защитного интервала Δ – циклического префикса, копии окончания сигнала, размещаемого перед полезным символом.

При этом общая длительность символа T_S увеличивается на длину защитного интервала, а полезная часть и окно БПФ сохраняют первоначальный размер T_U. Благодаря тому, что размер окна БПФ, то есть период времени, в течение которого осуществляется демодуляция OFDM-сигнала, меньше длительности символа, приемник имеет возможность расположить окно БПФ внутри символа так, чтобы добиться минимизации межсимвольной интерференции. Выбор положения окна БПФ в приемнике называется синхронизацией. Тот сигнал, относительно которого была произведена синхронизация, будет основным. Основной сигнал всегда является полностью полезным. Остальные сигналы могут быть полностью полезными, частично полезными, либо полностью интерференционными в зависимости от относительной задержки t. Относительная задержка t представляет собой разность между временем прибытия данного сигнал и временем прибытия основного сигнала. В том случае, когда относительная задержка t не превышает длину защитного интервала, сигнал будет полностью полезным.

В системах DVB-T/T2 для когерентного детектирования используется частотный интерполяционный фильтр. Полоса пропускания этого фильтра T_p всегда превышает защитный интервал $\Delta = T_U / 4$ [12]. Максимальное теоритически допустимое значение T_p составляет $T_U / 3$, в реальных приемниках $T_p = \frac{7}{24} T_U$. В том случае, если относительная задержка сигнала превышает Δ, но не превышает T_p, сигнал оказывается частично полезным. Любой сигнал, относительная задержка которого превышает T_p, считается помехой. В таком случае полезный вклад n-ого сигнала можно выразить в виде весовой функции(1):

$$\omega_n = f(x) = \begin{cases} \left(\frac{T_u - t}{T_u}\right)^2, & (\Delta - T_p) < t \le 0 \\ 1, & 1 < t \le \Delta \\ \left(\frac{T_u + \Delta - t}{T_u}\right)^2, & \Delta < t \le T_p \\ 0, & в\ других\ случаях \end{cases} \quad (1)$$

где T_u – полезная длина символа, Δ – длинна защитного интервала и T_p – интервал, в течение которого принимаемые сигналы вносят полезный вклад, t – относительная задержка.

Если одночастотная сеть состоит из A = {1, ..., N} передатчиков и есть M передатчиков других сетей, работающих на той же частоте B = {1, ..., M}, соотношение несущая-шум (C/I) может быть описана в терминах предыдущей функции (1):

$$\frac{C}{I} = \frac{\sum_{n \in A} P_n}{\sum_{n \in A} P_n \left(1 - \omega_n (\tau_n - \tau_0)\right) + \sum_{n \in B} P_n + N_0} \quad (2)$$

где P_n – мощность, принимаемая от n-го передатчика, ω_n – значение весовой функции, τ_n – задержка сигнала n-ного передатчика, τ_0 – задержка основного сигнала, N_0 – уровень фонового шума.

Очевидно, что большое знание имеет выбор главного сигнала, относительно которого происходит синхронизация. К сожалению, информация о стратегии синхронизации, используемой в приемниках, не раскрывается производителями. Практические исследования[12] показали, что наиболее часто производителями используется стратегия, называемая «первый сигнал выше порогового уровня». В этой стратегии позиционирование окна БПФ осуществляется относительно первого принятого сигнала. При этом устанавливается минимальный пороговый уровень, при превышении которого происходит синхронизация. При моделировании приемника в одночастотной сети допустимо использование вышеназванной стратегии во всех приемниках, что и принято в нашей работе.

Геоинформационная система – автоматизированная система, осуществляющая сбор, хранение, обработку, отображение и распространение пространственно-координированных данных в нашем случае содержит информацию о рельефе в зоне обслуживания, типе подстилающей поверхности, плотности проживания, координаты расположения РПС и другие данные. В связи с ограниченной точностью моделей распространения радиоволн (модель дальней зоны) для решения поставленных задач достаточно пространственного разрешения цифровых карт территории до 3". Из имеющихся в свободном доступе особое внимание заслуживают геоданные SRTM (Shuttle Radar Troposphere Mission) [13]. Данные распространяются в виде электронных карт формат GeoTIFF размером 5x5 градусов и разрешением 3 секунды, они доступны, имеют достаточную точность и могут быть использованы для решения задач оптимизации и планировании сетей DVB-T/T2.

Параметры сети, подлежащие оптимизации и целевая функция

Из постановки задачи следует, что оптимизации подлежат следующие параметры сети: перераспределение мощности между отдельными панелями антенн; временная задержка излучения сигнала каждым передатчиком синхронной зоны, входящего в синхронную зону, относительно главного передатчика; диаграмма направленности и угол наклона панельных антенн. Несмотря на ряд сложностей,

связанных с поиском оптимальной комбинации мощностей, подаваемых на каждую панель, их углов наклона и азимутов, данный подход не несет за собой высоких финансовых затрат при модернизации сети.

Оптимальный вариант сочетания названных параметров предлагается вычислить через значения целевой (фитнесс) функции(3), которая оценивает долю обслуживаемой территории. Расчётные характеристики сигнала в каждой точке исследуемой области сравниваются с пороговыми значениями C_{min} и $\frac{C}{N_{min}}$ (4).

$$F = 1 - \sum_{r=1}^{R} \frac{Cov_r}{R} \quad (3)$$

$$Cov_r = -\begin{cases} 0, (C \geq C_{min}) \cap (\frac{C}{N} \geq \frac{C}{N_{min}}) \\ 1 \end{cases} \quad (4)$$

Для повышения качества предлагаемого решения, в фитнесс функцию могут быть введены весовые коэффициенты, учитывающие тип подстилающей поверхности (населенный пункт, лес, море, пресный водоем и т.д.), плотность застройки. В простейшем случае можно выделить три типа точек с различными весами: с наличие застройки, с отсутствие застрой, и принципиально не заселяемые (поверхности водоемов, горы и т.д.). В этом случае функция (4) примет вид (5)

$$Cov_r = -\begin{cases} 0, (C \geq C_{min}) \cap (\frac{C}{N} \geq \frac{C_{min}}{N_{min}}) \\ a \end{cases} \quad (5)$$

где a – весовой коэффициент, характеризующий тип подстилающей поверхности:

$$a = \begin{cases} 1, застройка \\ 0.5, незаселенная\ территория \\ 0.1, водная\ поверхность \end{cases} \quad (6)$$

Кроме того, через весовые коэффициенты может быть обеспеченно выполнение условий электромагнитной совместимости и других возможных административных ограничений уровня сигнала. Для решения поставленной задачи в работе используются алгоритмы имитации отжига SA и пчелиных колоний ABC [14, 15].

Описание программного комплекса

Для реализации основных стадий выбора оптимального варианта SFN DVB-T разработан программный комплекс, общая схема которого приведена на рис. 1. Комплекс использует электронные карты SRTM, модели для расчета зоны обслуживания сети и метаэвристические алгоритмы ABC и SA для выбора оптимальных параметров.

Взаимодействие компонентов программного комплекса включает следующие этапы:

1. Инициализация постоянных параметров.
2. Определение начальных значений и допустимых границ изменений переменных параметров.
3. Расчет напряженности поля в каждой точке предполагаемой зоны обслуживания для каждого передатчика.
4. Расчет результирующей напряженности поля C и отношения сигнал-шум C/I в каждой точке предполагаемой зоны приема.
5. Сравнение полученных значений C и C/I с установленными уровнями QoS, расчет фитнесс-функции.
6. Выбор новых значений переменных параметров в соответствии с алгоритмом SA либо ABC.
7. Повторение пунктов 3-6 заданное количество итераций.

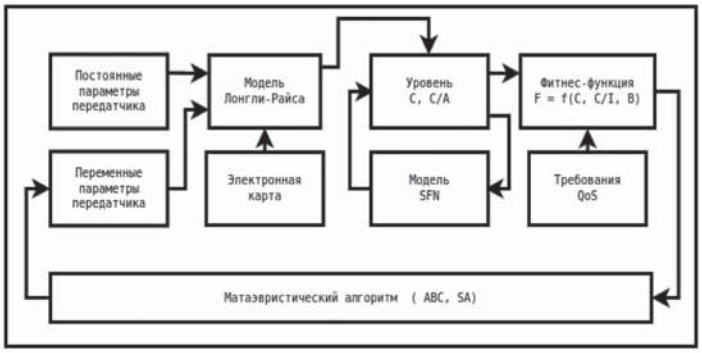

Рис. 1. Обобщенная схема программного комплекса

Конечным результатом работы комплекса является набор значений параметров передатчиков исследуемой сети. Кроме этого, разработанный программный комплекс позволяет получать графическое отображения распределения напряженности поля, отношения сигнал-шум и границ зоны обслуживания на местности. Для расчета напряженности поля используется модель Лонгли-Райса в режиме точка-точка, либо улучшенная модель ITWOM. Алгоритмы, выполняющие расчет характеристик поля, реализованы на языке C++, обработка входных и выходных данных, а также их визуализация на языке Python. Дополнительно в программном комплексе имеется возможность использования библиотеки PyGMO [16], которая включает в себя реализацию нескольких десятков различных эвристических алгоритмов, в том числе алгоритм роя пчел, алгоритм имитации отжига, генетические алгоритм и др. Все эти алгоритмы включены в программный комплекс и могут быть применимы для оптимизации одночастотных сетей DVB-T.

Верификация программного комплекса

Подтверждение соответствия разработанного программного комплекса вышеописанным требованиям на первом этапе проводилось серией предварительных экспериментов, включающих моделирование действующей SFN DVB-T Владивостока, а так же моделирование и оптимизацию эталонной сети.

SFN DVB-T Владивостока – это шесть передатчиков, работающих на частоте 598-606 МГц (37 ТВК), расположение передатчиков показано на рис. 3. Зона обслуживания сети характеризуется плотной городской застройкой, сложным рельфом, большими перепадами высот и морскими территориями. На рис. 2 приведены пространственное распределение напряженности поля (слева) и границы зоны обслуживания (справа) одночастотной сети DVB-T города Владивостока. Под зоной обслуживания понималась в соответствие с ГОСТом совокупность точек, в которых рассчитанный уровень поля цифрового сигнала и отношения сигнал-шум превышает требуемые для условий фиксированного приема [1]. Полученные результаты расчетов были сопоставленны с

аналогичными, выполненными в ПО RadioMobile[17] (рис. 3), а так же с результатами натурных измерений [7]. В обоих случаях было установленна большая степень соответствия по уровню напряженности поля, границам «теневых областей» и зоны обслуживания, что свидетельствует о достоверности полученных данных.

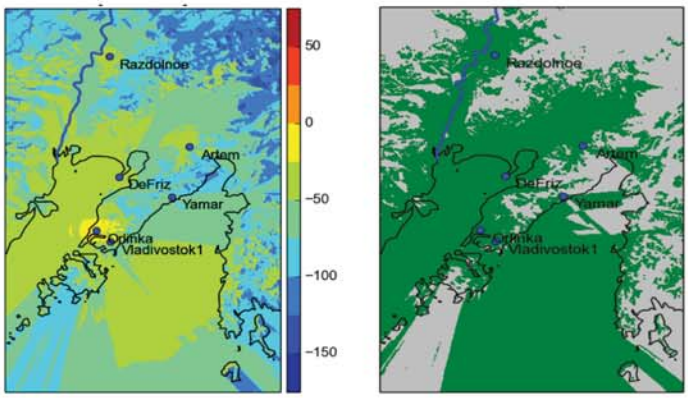

Рис. 2. Результаты расчетов напряженности поля и границ зоны обслуживания SFN DVB-T Владивостока

Одночастотная зона сети DVB-T города Владивостока имеет небольшие размеры, а расстояние между передатчиками не превышает 60 км. Для такой сети оптимизация предустановленной задержки не имеет смысла, так как задержка сигнала в пути всегда будет меньше защитного интервала и эффекты внутрисетевой интерференции не будут проявляется. Поэтому верификация программного комплекса в части оценки эффективности алгоритмов оптимизации была проведена на модели эталонной сети, выполненной согласно рекомендациям[18]. Рельеф подстилающей поверхности сгенерирован случайным образом, а параметры генерации были выбраны таким образом, чтобы разброс высот и размеры объектов рельефа соответствовали реальному рельефу, характерному для городов равнинной местности. На многочисленных экспериментах достигнуто увеличение зоны обслуживания сети на 6-10%, в зависимости от конфигурации сети. Таким образом, подтверждено, что использование разработного програмного комплекса позволяет добиться существенного роста зоны обслуживания при оптимизации SFN DVB-T.

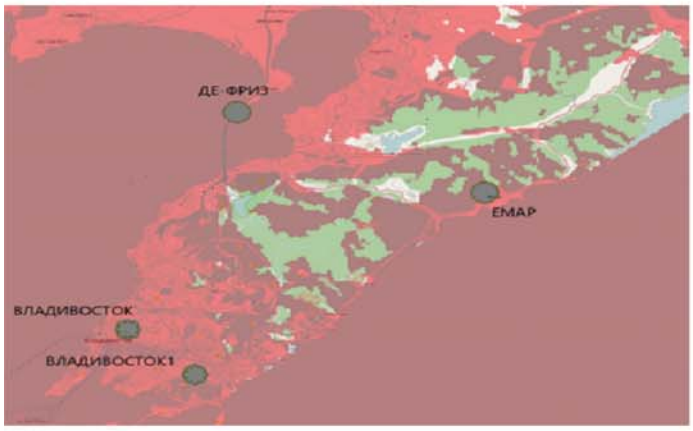

Рис. 3. Границы зоны обслуживания SFN DVB-T Владивостока, рассчитанная в программе Radiomobile

Выводы

Рассмотрены основные особенности применения метаэвристических алгоритмов для оптимизации SFN DVB-T, суть которой сводиться к достижению максимального размера зоны обслуживания при заданных параметрах качества. Для оптимизации использованы параметры, изменение которых не сопряжено с большими финансовыми затратами, либо юридическими сложностями.

В предложенном варианте применение метаэвристических алгоритмов сводиться к интеллектуальному перебору множества решений, каждое из которых представляет возможную конфигурацию SFN DVB-T. Для количественной оценки решений разработана целевая функция, с помощью которой осуществляется связь физической проблемы (доля обслуживаемой территории SFN) и математического аппарата метаэвристического алгоритма. Применение программного комплекса позволяет исключить субъективность при выборе оптимальных проектных вариантов SFN DVB-T, а также автоматизировать процесс проектирования сетей и сократить сроки модернизации существующих сетей. Во второй части работы планируется более подробно рассмотреть результаты оптимизации SFN DVB-T.

Литература

1. Методика частотного планирования радиоэлектронных средств цифрового телевизионного вещания стандарта DVB-H. – М.: НИИР, 2011. – С. 63-77.

2. *Morgade J., Pérez J., Basterrechea J., Arrinda A., Angueira P.* Optimization of the Coverage Area for DVB-T Single Frequency Networks Using a Particle Swarm Based Method," in Proc. of IEEE Vehicular Technology Conference Spring (VTC 2009 Spring), Barcelona (Spain), Apr. 26-29, 2009.

3. Рекомендация МСЭ Р.1546-3 (Критерии планирования для услуг наземного цифрового телевидения в диапазонах ОВЧ/УВЧ). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.itu.int/rec/R-REC-P.1546/, свободный.

4. Рекомендация МСЭ Р.1812 (A path-specific propagation prediction method for point-to-area terrestrial services in the VHF and UHF bands). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.itu.int/rec/R-REC-P.1812/, свободный.

5. Рекомендация МСЭ Р.526 (Propagation by diffraction). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.itu.int/rec/R-REC-P.526/, свободный.

6. *Perez-Fontan F., Hernando-Rabanos J.M.* Comparison of irregular terrain propagation models for use in digital terrain data based radiocommunication system planning tools // IEEE Transactions On Broadcasting, 1995. – Vol. 41. №2.

7. *Kasampalis, S., Lazaridis, P.I., Zaharis, Z.D., Bizopoulos, A., Zettas, S., Cosmas, J.* Comparison of Longley-Rice, ITM and ITWOM propagation models for DTV and FM broadcasting // WPMC, 2013, pp. 1-6.

8. *Ломакин А.Ф., Школьный С.И.* Моделирование поля DVB-T в условиях городской застройки // Научно-технический вестник ИТМО, 2012. – №6(82). – С.53-58.

9. *Hufford G., Longley A., Kissick W.* Guide to the use of the ITS irregular terrain model in the area prediction mode // NTIA, Tech. Rep. 1982, pp. 82-100.

10. *Beutler R.* Frequency Assignment and Network Planning for Digital Terrestrial Broadcasting Systems // Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2004.

11. ГОСТ Р 54715-2011. Телевидение вещательное цифровое. Планирование наземных сетей цифрового телевизионного вещания. Технические основы.

12. *Brugger R., Hemingway D.* OFDM receivers – Impact on coverage of inter-symbol interference and FFT window positioning // EBU Tech. Review, 2003, pp. 1-12.

13. Shuttle Radar Topography Mission [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://srtm.usgs.gov/index.php, свободный.

14. *Bertsimas D., Tsitsiklis J.N.* Simulated Annealin // Statistical Science, 1993. – Vol. 8. No. 1, pp. 10-15.

15. *Dervis Karaboga, Bahriye Akay.* A Comparative Study of Artificial Bee Colony Algorithm. Applied Mathematics and Computation Journal, Elelsevier, 2009, pp. 108-132.

16. Python Parallel Global Multiobjective Optimizer [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://esa.github.io/pygmo, свободный.

17. RadioMobile [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.cplus.org/rmw/english1.html, свободный

18. "Guide on SFN Frequency Planning and Network Implementation with regard to T-DAB and DVB-T." Issue 1.0. – July 2005.

METHOD OF OPTIMIZATION OF DVB SFN

Shkolniy S.I., *Moscow, Russia,* ***nimagt@gmail.com***

Abstract

In this paper, a theoretical and practical aspect of a SFN DVB-T modernization is presented. The features of a DVB-T single-frequency networks simulation are considered. The proposed SFN model consists of four units: radio wave propagation model, transmitting station model, receiving station model, GIS. The Longley-Rice propagation model and its modifications are used in this work because of capability to provide sufficient accuracy for difficult terrain and dense urban areas. Features of the receiving station model are considered. The formula that allows to reliably estimating the signal characteristics in the case where the receiving antenna receives multiple copies of the signal from different transmitters is presented. Fitness function, which allows quantifying the network configuration in terms of optimality, is proposed. The features of a software tool for feature selection and parameters optimization is considered. Basic details of software system implementation are shown. Results of comparison of software data and measurement data of DVB-T network in Vladivostok, as well as the data obtained in the RadioMobile are presented. Preliminary test results are shown for the Vladivostok SFN, as well as for reference network, that demonstrate the usefulness of the approach.

Keywords: *OFDM, digital TV, DVB-T, single-frequency network optimization, metaheuristic algorithms.*

Refernces

1. Methods of radio frequency planning tools for digital TV broadcasting standard DVB-H. NIIR. Moscow. 2011, pp. 63-77. (*in Russian*).
2. *Morgade J., Perez J., Basterrechea J., Arrinda A., and Angueira P.* of the Coverage Area for DVB-T Single Frequency Networks Using a Particle Swarm Based Method. Proc. of IEEE Vehicular Technology Conference Spring (VTC 2009 Spring), Barcelona (Spain), Apr. 26-29, 2009.
3. Recommendation ITU-R P.1546-3, Method for point-to-area predictions for terrestrial services in the frequency range 30 MHz to 3000 MHz, viewed July 2014, http://www.itu.int/rec/R-REC-P.1546. (*in Russian*).
4. Recommendation ITU-R P.1812, A path-specific propagation prediction method for point-to-area terrestrial services in the VHF and UHF bands, viewed July, 2014, https://www.itu.int/rec/R-REC-P.1812. (*in Russian*).
5. Recommendation ITU-R P.526 Propagation by diffraction, viewed July 2014, https://www.itu.int/rec/R-REC-P.526. (*in Russian*).
6. *Perez-Fontan F., Hernando-Rabanos J.M.* Comparison of irregular terrain propagation models for use in digital terrain data based radio-communication system planning tools. IEEE Transactions On Broadcasting, 1995. Vol. 41. No. 2.
7. *Kasampalis, S., Lazaridis, P.I., Zaharis, Z.D., Bizopoulos, A., Zettas, S., Cosmas, J.* Comparison of Longley-Rice, ITM and ITWOM propagation models for DTV and FM broadcasting. WPMC. 2013. pp. 1-6.
8. *Lomakin A., Shkolniy S.* DVB-T field modeling in urban areas. Scientific and Technical Journal of ITMO, 2012. Vol. 6(82). pp. 53-58. (*in Russian*).
9. Hufford G., Longley A., Kissick W. Guide to the use of the ITS irregular terrain model in the area prediction mode. NTIA, Tech. Rep. 1982. pp. 82-100.
10. *Beutler R.* Frequency Assignment and Network Planning for Digital Terrestrial Broadcasting Systems. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2004.
11. ГОСТ Р 54715-2011. Digital Television Broadcasting. Planning of terrestrial digital television broadcasting networks. Technical Basics. (*in Russian*).
12. *Brugger R., and Hemingway D.* OFDM receivers – impact on coverage of inter-symbol interference and FFT window positioning. EBU Tech. Review, 2003. pp. 1-12.
13. Shuttle Radar Topography Mission, viewed July 2014, http://srtm.usgs.gov/index.php.
14. *Bertsimas D., Tsitsiklis J.N.* Simulated Annealin. Statistical Science. 1993. Vol. 8. No. 1, pp. 10-15.
15. *Dervis Karaboga, Bahriye Akay.* A Comparative Study of Artificial Bee Colony Algorithm. Applied Mathematics and Computation Journal, Elelsevier. 2009, pp. 108-132.
16. Python Parallel Global Multiobjective Optimizer, viewed July 2014, http://esa.github.io/pygmo.
17. RadioMobile, viewed July 2014 http://www.cplus.org/rmw/english1.html.
18. Guide on SFN Frequency Planning and Network Implementation with regard to T-DAB and DVB-T. Issue 1.0, July 2005.

Information about authors: *Shkolniy S.I., postgraduate student, FESU, MTUCI, Moscow, Russia.*

For citation:
Shkolniy S.I. Method of DVB SFN optimization. T-Comm. 2015. Vol 9. No.5, pp. 57-62. (*in Russian*).

СПОСОБ ОРГАНИЗАЦИИ ГЛОБАЛЬНОЙ СЕТИ ЦИФРОВОГО РАДИОВЕЩАНИЯ В ДИАПАЗОНЕ ДВ

Варламов Олег Витальевич,
к.т.н., старший научный сотрудник НИЛ-6 МТУСИ, Москва, Россия,
vov@mtuci.ru

Ключевые слова: *цифровое радиовещание, DRM, длинные волны, одночастотная сеть, темное время суток, глобальная сеть радиовещания.*

Проведенный ранее автором анализ основ корректного планирования сетей DRM вещания в диапазонах ДВ и СВ в светлое время суток показывает, что на территории РФ применение стандарта DRM энергетически более выгодно, чем традиционного АМ вещания. Использование диапазона ДВ для построения глобальной сети ЦРВ оказывается наиболее экономичным из всех возможных вариантов. Однако в темное время суток, при наличии помех от соканальных станций, зона обслуживания существенно сокращается. Необходимые защитные отношения выполняются при расстояниях между передатчиками около 5000 км. При традиционном построении сети вещания частотно-территориальное планирование на больших территориях не может быть осуществлено, т.к. имеющихся в ДВ диапазоне 15 номиналов радиочастот оказывается недостаточным. По этой причине не все страны в 1 Регионе МСЭ имеют ДВ передатчики, а некоторым предписано снижение мощности в ночное время.

Для решения данной задачи предлагается сменить концептуальный подход, отказавшись от привычного принципа частотно-территориального планирования одиночных передатчиков с чередованием частот, и перейти к крупно-кластерному (зональному) планированию, состоящему из зон с одночастотным синхронным вещанием. Для РФ реализация данного предложения позволит организовать покрытие всей территории, включая акватории, двумя программами радиовещания, одна из которых может быть глобальной, а вторая - региональной в пределах кластера. Приводится пример разработанной сети глобального покрытия территории РФ цифровым радиовещанием стандарта DRM в диапазоне ДВ с использованием крупно-кластерных зон с синхронным вещанием. Показано, что для покрытия всей территории РФ достаточно 29 передатчиков с суммарной мощностью 1940 кВт, расположенных в 10 зонах синхронного вещания и использующих 8 номиналов радиочастот.

Данное предложение также позволяет решить проблемы внутри Регионального содружества в области связи (РСС) с распределением оставшихся от СССР синхронных частот между государствами СНГ. Разработанный пример архитектуры сети государственного радиовещания РФ показывает эффективность предложенного способа организации глобальной сети цифрового радиовещания в диапазоне ДВ с использованием крупно-кластерных зон синхронного вещания. Данная архитектура сети позволяет обеспечить круглосуточное покрытие цифровым радиовещанием всей территории РФ при достаточно малой суммарной мощности передатчиков.

Для цитирования:
Варламов О.В. Способ организации глобальной сети цифрового радиовещания в диапазоне ДВ // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2015. – Том 9. – №5. – С. 63-68.

For citation:
Varlamov O.V. Method of organization global digital radio broadcasting network in the LW band. T-Comm. 2015. Vol. 9. No.5, pp. 63-68. (*in Russian*).

Введение

Задача обеспечения информационной безопасности населения является одной из приоритетных для каждого государства. Для РФ эти задачи отражены в «Доктрине информационной безопасности Российской Федерации», утвержденной Президентом РФ в 2000 г. Одним из инструментов обеспечения информационной безопасности является государственное телерадиовещание.

Реализуемая в настоящее время ФГУП РТРС беспрецедентная по своим масштабам ФЦП "Развитие телерадиовещания в Российской Федерации на 2009-2015 годы" позволит впервые обеспечить население РФ возможностью приема многопрограммного цифрового телевизионного вещания «с охватом до 98,3% населения в местах постоянного проживания» [1].

Тем не менее, остающиеся без возможности приема общедоступных телевизионных каналов 1,7% – это более 2,4 млн. человек, что превышает численность населения таких стран как Словения, Латвия или Эстония. Более того, уточнение в тексте ФЦП про «места постоянного проживания» далеко не случайно. Действительно, строить объекты телевещания (при радиусе их действия от 5 до 50 км) в ненаселенной местности экономически неоправданно. Элементарный анализ покрытия цифровым телевизионным вещанием 9 крупнейших по площади регионов, занимающих 62,7% площади РФ, проведенный на основе опубликованных на сайте РТРС данных по количеству и мощности объектов ЦТВ, показывает, что более половины территории РФ не покрыты телевещанием. На этих территориях могут располагаться дачные и садовые участки (не относящиеся к местам постоянного проживания), на которых в летнее время проживают миллионы граждан РФ. По этим территориям проходят автодороги, по которым проезжают часть водителей из более 50 млн. транспортных средств, зарегистрированных в РФ. На этих территориях работают геологи, охотники, лесозаготовители, старатели, моряки и т.д. Очевидно, что отсутствие объектов вещания РТРС на этих территориях приводит не только к отсутствию телевещания, но и к отсутствию радиовещания в диапазоне УКВ, имеющего в силу схожести законов распространения радиоволн аналогичные радиусы зон покрытия. Очевидно, что при отсутствии инфраструктуры, на этих территориях также нет и мобильной связи, и тем более нет источников доступа к сети интернет. Следует также напомнить, что 20% территории РФ находится за полярным кругом, где прием сигналов телерадиовещания с геостационарных спутников затруднен или невозможен.

Таким образом, более половины территории РФ оказывается неохваченной телерадиовещанием и передачей сигналов массового оповещения, что делает еще более актуальным сказанное в 2001 году в [2]: «Отсутствие доступа к общероссийскому радиовещанию лишает людей оперативной национально-значимой информации, жители окраинных регионов вынуждены порой слушать чужие радиостанции: китайские – на Дальнем Востоке, украинские – на юго-западе России и так далее».

Более того, гарантированная подача сигналов оповещения в зону чрезвычайной ситуации возможна только с соседних (непострадавших) территорий, поскольку инфраструктура цифрового телевещания в зоне ЧС может быть нарушена. Сделать это можно только с использованием мощного радиовещания в диапазонах ДВ, СВ или КВ.

Именно средствами мощного радиовещания решалась задача информирования населения страны в предыдущие годы. Существовавшая (в настоящее время отключенная) аналоговая сеть внутреннего мощного вещания в 2005 г. насчитывала 30 передатчиков диапазона ДВ с суммарной мощностью более 14 МВт и 224 передатчика диапазона СВ с суммарной мощностью более 28 МВт. В том числе 23 передатчика имели мощность 1 МВт и более. При этом покрытие всей территории РФ не обеспечивалось, качество сигнала в темное время суток было невысоким, а затраты на электроэнергию (в текущих ценах) приближались к 2 млрд. руб. в год. Даже при использовании сетей синхронного радиовещания, применявшихся на ряде частот, большего результата в аналоговом режиме достичь было практически невозможно.

Переход на цифровое радиовещание стандарта DRM, предусмотренный изначальной редакцией ФЦП [1], теоретически позволял улучшить качество покрытия при одновременном существенном снижении мощностей передатчиков. В частности, планировалось использование 17 передатчиков в диапазоне ДВ, 79 – в СВ и 30 – в КВ. По мере накопления практического опыта использования ЦРВ в различных диапазонах частот, полученного в ряде НИР, проведенных МТУСИ по заказу РТРС, идеология построения сети мощного радиовещания изменялась. Так, в Системном проекте РТРС «Сеть государственного наземного вещания Российской Федерации» (2011 год) в качестве основного принципиального подхода к построению сети вещания было предложено развитие сети длинноволновых передатчиков: 27 – ДВ, 6 – СВ, 17 – КВ. При этом вещание на удаленные и малонаселенные территории планировалось осуществлять в диапазоне КВ, что не могло гарантировать возможность приема в периоды нередких в северных широтах ионосферных возмущений. Также не были в достаточной степени проработаны вопросы одновременной работы 27 передатчиков диапазона ДВ при наличии всего 15 номиналов радиочастот в этом диапазоне в темное время суток, что не позволяло обеспечить круглосуточное покрытие территории.

В результате нехватки средств на ЦТВ из ФЦП был исключен раздел радиовещания, однако возвращение к этой теме не теряет актуальности, а с учетом излагаемого далее позволяет существенно более рационально организовать сеть мощного вещания.

Преимущества использования диапазона ДВ для ЦРВ в высоких широтах

Разработанные в последние годы автором основы корректного планирования сетей DRM вещания в диапазонах ДВ и СВ в светлое время суток [3, 4] позволили по новому взглянуть на проблему покрытия северных территорий. В частности, показано, что на территории РФ применение стандарта DRM энергетически более выгодно, чем традиционного AM вещания. Также стандарт DRM предусматривает возможность передачи помимо аудио сервиса еще

и дополнительной цифровой мультимедийной информации. Такая информация может иметь не только развлекательное значение – передача изображений певцов, но и прикладное – передача карт погоды, ледовой обстановки на Северном морском пути и т.д. Несмотря на рост напряженности поля атмосферных шумов с понижением частоты, наибольшие радиусы зон обслуживания достигаются в диапазоне ДВ, в котором земная волна может распространяться независимо от солнечной активности на расстояния более 600 км над сушей и более 1200 км над морем.

Данные особенности распространения длинных волн позволяют наиболее экономично и надежно обеспечить покрытие больших малонаселенных территорий и морских акваторий, в том числе Северного морского пути. Действительно, в диапазоне УКВ радиус зон покрытия не превышает 50-70 км, и строительство передатчиков в малонаселенных районах оказывается нерентабельным, а в акваториях - невозможным. В диапазоне КВ в северных широтах наблюдаются регулярные нарушения распространения радиоволн, обусловленные солнечной активностью, что не позволяет обеспечить гарантированную надежность. Геостационарные спутники не видны в высоких широтах (от 81° до полюсов), а на широтах выше 75° наблюдаются очень низко над горизонтом, скрываясь за выступающими объектами и рельефом местности. Спутниковые системы на высокоэллиптических орбитах требуют применения нескольких космических аппаратов для обеспечения круглосуточного вещания, что не позволяет окупить систему при малой плотности населения, а также зачастую требуют применения приемной антенны с функцией слежения, что на порядки удорожает абонентский приемник [5].

Таким образом, затраты на систему ЦРВ стандарта DRM в диапазоне ДВ в этом случае оказываются минимальными из всех возможных вариантов и могут быть еще более уменьшены при совместном использовании существующих радиомачт объектов навигационной системы «Чайка» и передатчиков дифференциальной поправки GPS/ГЛОНАСС. Также система ЦРВ в диапазоне ДВ может использоваться как средство распространения программ с последующей ретрансляцией маломощными передатчиками диапазона УКВ в малых населенных пунктах.

При радиусе зоны обслуживания 550-600 км для покрытия всей территории РФ теоретически минимально потребуется 16…18 передатчиков. Учитывая реальную конфигурацию территории РФ, а также необходимость покрытия прибрежных морских акваторий и территорий сопредельных государств с большой долей русскоязычного населения, общее количество передатчиков может составить 27…30.

Решение проблемы темного времени суток

В темное время суток при появлении ионосферной волны возникают помехи от соканальных станций. Прогнозируемая величина напряженности поля ионосферной волны в ночное время для Района 1, в который входит территория РФ, определяется в соответствии с [6] следующим образом:

$$E = V + E_0 - Lt = V + Gs - Lp + A - 20\log(p) - La - Lt - Lr,$$

где E – годовая медиана получасовых медианных значений напряженности поля (дБ(мкВ/м)) для данной симомотивной силы передатчика, V, в данное время t относительно захода или восхода Солнца, в зависимости от ситуации. В диапазоне НЧ коэффициент потерь, учитывающий влияние солнечной активности, $L_r = 0$. Для трасс, проходящих по территории России, поправка на усиление за счет влияния моря не учитывается ($G_S = 0$), так же, как и потери за счет деполяризации ($L_p = 0$). Интересующие нас максимальные значения медианной напряженности поля мешающего сигнала достигаются при часовом коэффициенте потерь $L_t = 0$ и для передатчика с нормированной излучаемой мощностью 1 кВт (0 дБ кВт) могут быть выражены следующим образом:

$$E = A - 20\log(p) - La,$$

где A – константа (на НЧ $A = 110{,}2$); p – дальность наклонного распространения, км; L_a – коэффициент потерь, отражающий влияние ионосферного поглощения и связанных с ним факторов:

$$L_a = k\,(p / 1000)^{1/2},$$

где коэффициент основных потерь k определяется выражением:

$$k = (2\pi + 4{,}95\,\tan^2 \Phi),$$

Φ – геомагнитная широта (диполя) средней точки исследуемой трассы. Если Φ больше $+60°$, k вычисляется для $\Phi = \pm 60°$.

Зависимости напряженности поля ионосферной волны от расстояния от мешающего передатчика для различных геомагнитных широт (30°, 40°, 50° и 60°)приведены пунктирными линиями на рис. 1. Как видно из рис. 1, ионосферная волна от мешающих станций распространяется на значительные расстояния, сокращая зону обслуживания полезной станции.

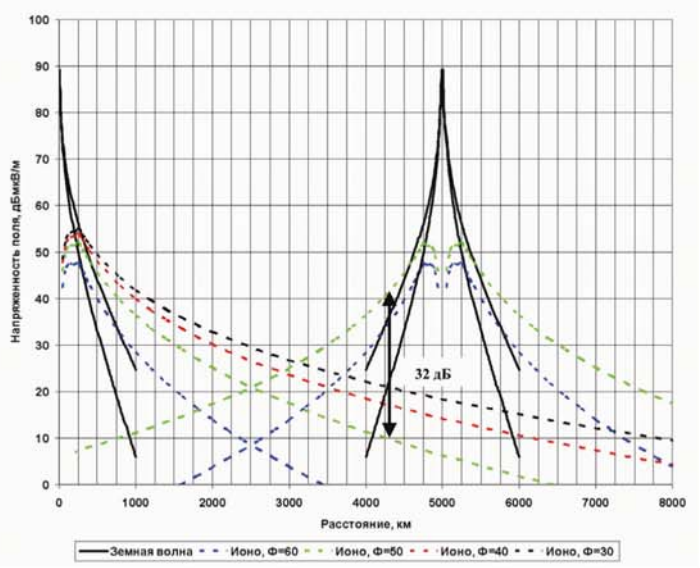

Рис. 1. Ход напряженности поля земной и ионосферной волн (для передатчика 1 кВт). Для напряженности поля земной волны показаны 2 варианта – для разных частот или для разных проводимостей почвы

Изменения ото дня ко дню и кратковременные изменения уровней напряженности поля в ночное время (вариации напряженности поля ионосферной волны) практически не поддаются строгому расчету и учитываются статистически в [6] для диапазона НЧ следующим образом:

$\Delta(10) = 6{,}5$ дБ; $\Delta(1) = 11{,}5$ дБ.

Большее значение вариаций приводится в [7], откуда следует, что для достижения надежности приема 98%, необходимо принимать запас на вариации, равный 16 дБ.

Как видно из рис. 1, необходимые защитные отношения сигнал/помеха (16 дБ для декодирования + 16 дБ запас на вариации) начинают выполняться для 50° геомагнитной широты при расстояниях между передатчиками около 5000 км. В более высоких широтах это расстояние уменьшается, а ближе к экватору – увеличивается.

В этой ситуации при традиционном построении сети вещания частотно-территориальное планирование не может быть осуществлено на больших территориях, так как имеющихся в ДВ диапазоне 15 номиналов радиочастот оказывается недостаточно (рис. 2). По этой причине не всем странам в 1 Регионе МСЭ было «позволено» иметь ДВ передатчики, а для некоторых предписывалось снижение мощности в темное время суток. В частности, протяжённость территории РФ с севера на юг превышает 4 000 км, с запада на восток — приближается к 10 000 км, и при радиусах зоны обслуживания передатчиков 500-600 км частот ДВ диапазона в ночное время было недостаточно даже для РФ.

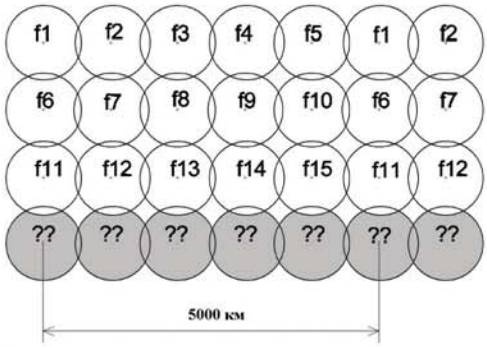

Рис. 2. Иллюстрация невозможности осуществления частотно-территориального планирования на больших территориях при традиционном построении сети вещания. Имеющихся в диапазоне ДВ 15 частот недостаточно

Для решения данной задачи предлагается сменить концептуальный подход, отказавшись от привычного принципа частотно-территориального планирования одиночных передатчиков с чередованием частот, и перейти к крупно-кластерному (зональному) планированию, состоящему из зон с синхронным вещанием, что позволяет реализовать все преимущества ЦРВ.

В цифровом радиовещании стандарта DRM в режиме помехоустойчивости «B» длительность защитного интервала составляет 5,333 мс. В этой ситуации передатчики, находящиеся на расстоянии пути длины волны меньше 1600 км, будут находиться в синхронном режиме, и не будут создавать помех друг другу. Пример зоны с синхронным вещанием для диапазона ДВ приведен на рис. 3.

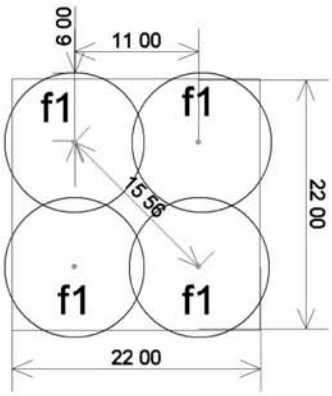

Рис. 3. Пример зоны с синхронным вещанием для диапазона ДВ

Из таких крупно-кластерных синхронных зон можно построить глобальную сеть вещания РФ, используя всего 8 радиочастот (рис. 4). Остающиеся частоты можно использовать для организации второго мультиплекса радиовещания – там, где территория суши имеет вытянутый характер по одной из осей (восточная часть РФ), или там, где нет покрытия ЦТВ.

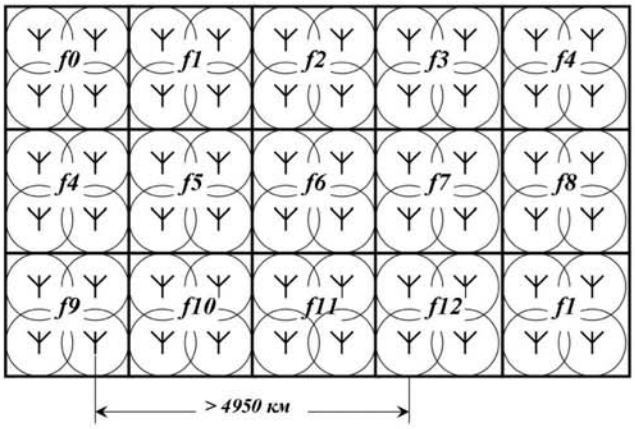

Рис. 4. Глобальная сеть вещания из крупно-кластерных синхронных зон. Для РФ используются частоты f1-f8

Для РФ реализация данного предложения позволит организовать покрытие всей территории, включая акватории, двумя программами радиовещания, одна из которых может быть глобальной, а вторая – региональной в пределах кластера. Внедрение может быть начато с восточных территорий в рамках имеющихся частотных присвоений.

Обобщенный пример глобального покрытия территории РФ цифровым радиовещанием стандарта DRM в диапазоне ДВ с использованием крупно-кластерных зон с синхронным вещанием (без детализации зон обслуживания отдельных передатчиков) приведен на рис. 5. Как видно из рис. 5, для покрытия территории РФ может быть достаточно 9 зон, в которых используется 8 номиналов радиочастот. Количество передатчиков в каждой зоне, с учетом реальной конфигурации территории, может составлять от 2 до 5, с расположением как в треугольной, так и в квадратной сетке.

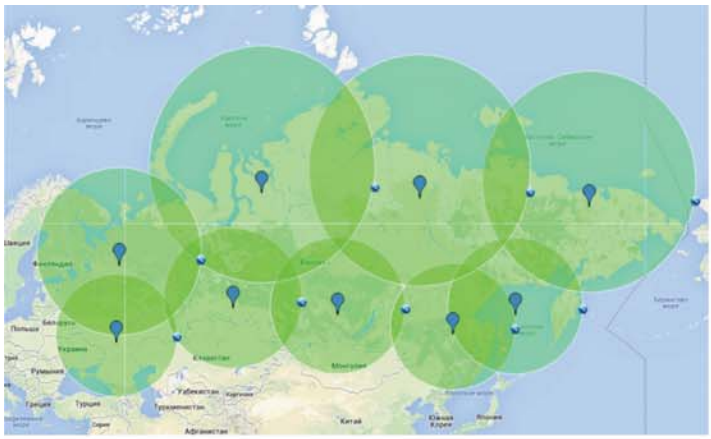

Рис. 5. Пример покрытия территории РФ с использованием крупно-кластерных зон с синхронным вещанием в диапазоне ДВ

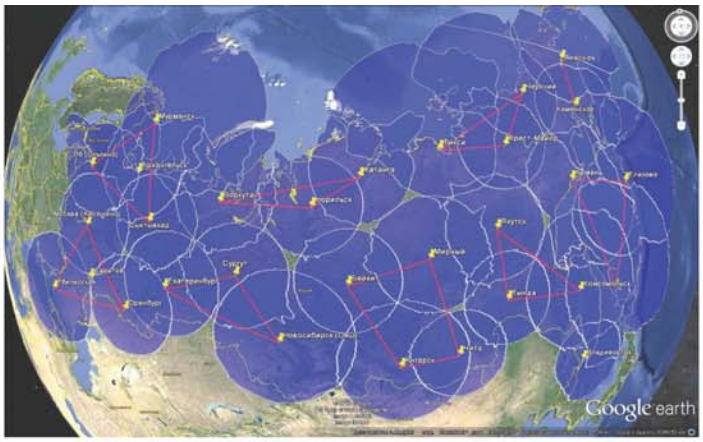

Рис. 6. Пример архитектуры сети государственного цифрового радиовещания РФ в диапазоне ДВ

Данное предложение реализует «цифровой дивиденд» и позволит получить возможность вещания в диапазоне ДВ для стран, которые его ранее не имели. Данное предложение также позволяет решить проблемы внутри Регионального содружества в области связи (РСС) с распределением оставшихся от СССР синхронных частот между государствами СНГ.

Пример разработки архитектуры сети государственного радиовещания РФ

При разработке топологии для расчетов зон покрытия вещанием в диапазоне ДВ в режиме DRM принимались расчеты для земной волны, т.е. для светлого времени суток. В темное время суток за счет предложенного принципа планирования с использованием крупно-кластерных зон с синхронным вещанием и повторным использованием частот на расстоянии более 5000 км зоны покрытия передатчиков не уменьшаются.

Расчеты зон покрытия проводились с помощью программы "MWCONT32" версии 9.0.4. с последующим переносом данных в программу Google Earth для возможности корректного отображения на поверхности земного шара в различных проекциях. В регионах, имеющих инфраструктуру ДВ радиовещания, использовались территориальные позиции существующих радиоцентров (использовано две трети радиоцентров, предусматривавшихся в Системном проекте). При этом разработанные в [8, 9, 10] технические решения позволяют использовать существующие антенно-мачтовые сооружения для работы в режиме DRM, а в верхней части диапазона ДВ и в режиме Simulcast, для одновременной передачи цифровой и аналоговой программ в переходный период. Данное обстоятельство совместно с минимизацией суммарной излучаемой мощности привело к необходимости использования 10 зон (в 10 зоне только один передатчик) при сохранении 8 номиналов радиочастот (рис. 6). Разработанный пример архитектуры сети государственного вещания РФ содержит 29 передатчиков общей мощностью 1940 кВт. Передатчики, работающие в кластерах синхронной сети, на рис. 6 соединены линиями.

Количество передатчиков, используемых в разработанном примере топологии сети мощного радиовещания, существенно меньше, чем в рассматривавшихся ранее вариантах (рис. 7), а их суммарная мощность по сравнению с сетью вещания 2005 года уменьшается практически в 22 раза и становится вдвое меньше потребляемой мощности объектов ЦТВ (рис. 8). Расходы на электроэнергию, составлявшие в 2005 году (в сегодняшних ценах) 2 млрд. руб. в год – что и являлось одной из основных причин сворачивания мощного радиовещания, сокращаются до 90 млн. руб. в год.

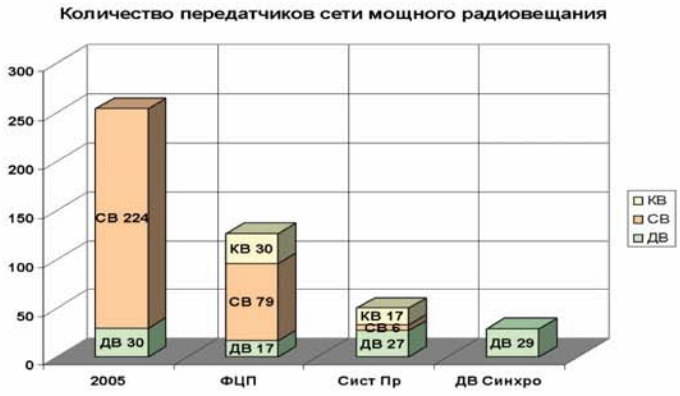

Рис. 7. Количество передатчиков в различных топологиях сетей мощного радиовещания

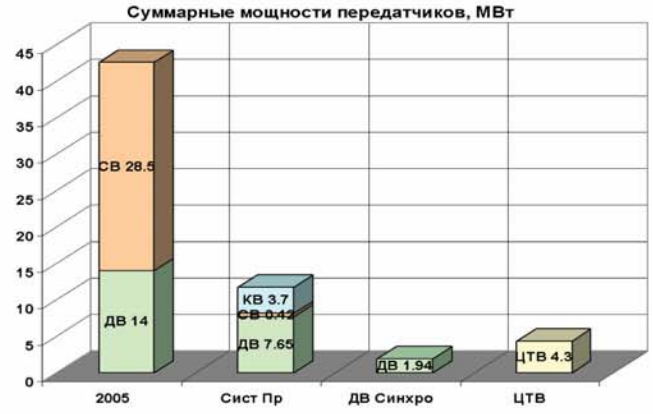

Рис. 8. Суммарные мощности передатчиков в различных топологиях сетей мощного радиовещания

Заключение

Разработанный пример архитектуры сети государственного радиовещания РФ показывает эффективность предложенного способа организации глобальной сети цифрового радиовещания в диапазоне ДВ с использованием крупно-кластерных зон синхронного вещания. Данная архитектура сети позволяет обеспечить круглосуточное покрытие цифровым радиовещанием всей территории РФ при достаточно малой суммарной мощности передатчиков.

Литература

1. Постановление Правительства РФ от 3 декабря 2009 г. N985 "О федеральной целевой программе "Развитие телерадиовещания в Российской Федерации на 2009-2015 годы" – Москва. – 2009.
2. *Засурский Я.Н.* Информационная безопасность России и средства массовой информации // Информационное общество. – 2001. – №4. – С. 19-23.
3. *Варламов О.В.* Особенности частотно-территориального планирования сетей радиовещания DRM диапазонов НЧ и СЧ // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2013. – №9. – С. 43-46.
4. *Варламов О.В.* Корректное планирование сетей DRM вещания // Электросвязь. – 2014. – № 6. – С. 26-34.
5. *Локшин Б., Орлов Ю.* Еще раз о спутниковом вещании с высокоэллиптических орбит // Broadcasting. Телевидение и радиовещание. – 2013. – № 4+5. – С. 48-49.
6. Rec. ITU-R P.1147-4 – Prediction of sky-wave field strength at frequencies between about 150 and 1700 kHz.
7. *Чернов Ю.А.* Цифровое радиовещание до 30 МГц: иллюзии и реальность. Часть 2. Длинные и средние волны. Темное время суток // Электросвязь. – 2012. – № 2. – С. 43-47.
8. *Варламов О.В., Горегляд В.Д.* Расширение полосы согласования передающих вещательных антенных систем диапазона ДВ для работы в режиме DRM // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2013. – №1. – С. 18-22.
9. *Варламов О.В.* Разработка алгоритма и программных средств проектирования антенно-согласующих цепей цифровых радиовещательных передатчиков стандарта DRM // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2013. – №2. – С. 47-50.
10. *Гайнутдинов Т.А., Гаранкина Н.И., Кочержевский В.Г., Гусева А.С.* Простые широкополосные согласующие устройства длинноволновых радиовещательных антенн // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2014. – №11. – С. 33-39.

METHOD OF ORGANIZATION GLOBAL DIGITAL RADIO BROADCASTING NETWORK IN THE LW BAND

Varlamov O.V., *Moscow, Russia,* ***vov@mtuci.ru***

Abstract

Previously by the author presented foundations analysis of the correct network planning for DRM broadcasting in LW and MW bands in daytime, shows that in the territory of Russian Federation using of DRM standard is energetically more favorable than traditional AM broadcasting. Using the LW band for global DRM broadcast network building is the most economical way of all possible options. However, in the night time, in the presence of interference from co-channel stations, the service area is significantly reduced. Necessary protection ratios are performed at distances between transmitters around 5000 km. Frequency planning over large areas can not be done in the traditional construction of broadcast network because available 15 radio frequencies in the LW band are insufficient. For this reason, not all countries in the Region 1 ITU have LW transmitters, and some transmitters reduce power at night time. To solve this problem it is proposed to change the conceptual approach, abandoning the familiar principle of frequency-territorial planning of individual transmitters with alternating frequencies, and move to the large-cluster (zonal) plan, consisting of areas with single-frequency synchronous broadcasting. Implementation of this proposal will allow organizing the coverage with two radio programs of the entire territory of Russia, including the water areas. One of program may be global, and the second - within a regional cluster. There is an example of the developed DRM digital broadcasting network with global coverage of Russia in the LW band using the large-cluster areas with synchronous broadcasting. It is shown that for the entire territory coverage of the Russian Federation it will be enough to have 29 transmitters with a total power of 1940 kW located in 10 areas with synchronous broadcasting and the using only 8 radio frequencies. This proposal also allows solving problems within the Regional Commonwealth in the Field of Communications (RCC) with the distribution between the CIS states of the remained from the Soviet Union synchronous frequency. Developed example of architecture of state broadcast network of the Russian Federation shows the effectiveness of the proposed method of organizing of global network of digital broadcasting in the LW band using the large-cluster zones with synchronous broadcasting. This network architecture allows having day and night coverage of digital broadcasting throughout the territory of the Russian Federation with a sufficiently small total transmitter's power.

Keywords: *digital broadcasting, DRM, long wave, single frequency network, night time, global broadcast network.*

References

1. RF Government Resolution dated December 3, 2009 N 985 "On the Federal Target Program "Development of broadcasting in the Russian Federation in 2009-2015". Moscow. 2009.
2. *Zasurskij Ja.N.* 2001, Information Security Russia and mass media. Information society. No. 4, pp. 19-23.
3. *Varlamov O.V.* 2013, Peculiarity of frequency-territorial planning of DRM broadcasting networks for LW and MW bands. T-Comm. No. 9, pp. 43-46.
4. *Varlamov O.V.* 2014, Correctly planning of DRM broadcasting networks. Elektrosvyaz. No. 6, pp. 26-34.
5. *Lokshin B., Orlov Yu.* 2013. Once again on the satellite broadcast with highly elliptical orbits. Broadcasting. Television and radio broadcasting. No. 4+5, pp. 48-49.
6. Rec. ITU-R P.1147-4 - Prediction of sky-wave field strength at frequencies between about 150 and 1700 kHz.
7. *Chernov Yu.A.* 2012, Digital radio broadcasting under 30 MHz. Illusions and reality. Part 2. Elektrosvyaz. No. 2, pp. 43-47.
8. *Varlamov O.V., Goreglyad V.D.* 2013, Bandwidth extension LW transmitting broadcasting antenna systems for operating in DRM mode. T-Comm. No. 1, pp. 18-22.
9. *Varlamov O.V.* 2013, Development of algorithm and software tools for antenna matching circuit design of DRM digital broadcast transmitters. T-Comm. No. 2, pp. 47-50.
10. *Gajnutdinov T.A., Garankina N.I., Kocherzhevskij V.G., Guseva A.S.* 2014, Simple broadband matching devices of long-wave broadcasting antennas. T-Comm. No. 11, pp. 33-39.

Information about author: *Oleg Varlamov, Moscow Technical University of Communications and Informatics, senior staff scientist, Ph.D., Moscow, Russia.*

МЕТОДЫ И ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ДЛЯ РАСЧЕТА ПОРАЖЕННОСТИ ТЕРРИТОРИИ ЛИНЕЙНО-ЭРОЗИОННЫМИ ПРОЦЕССАМИ В СОЦИАЛЬНО ЗНАЧИМЫХ ЗОНАХ В УСЛОВИЯХ НАСЫЩЕННОСТИ ТЕРРИТОРИИ ГОРОДА ТРАНСПОРТНЫМИ ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИМИ СООРУЖЕНИЯМИ

Шаталова Наталья Викторовна,
старший научный сотрудник, к.т.н.,
ФГБУН Институт проблем транспорта им. Н.С.Соломенко Российской академии наук, Санкт-Петербург, Россия,
shatillen@mail.ru

Бахарев Тимофей Сергеевич,
младший научный сотрудник, географ-геоморфолог,
ФГБУН Институт проблем транспорта Им. Н.С.Соломенко Российской академии наук, Санкт-Петербург, Россия,
tsbspb@gmail.com

Ключевые слова: *геоинформационные технологии, линейно-эрозионные процессы, транспортные инженерно-технические сооружения, техногенная нагрузка, обходы опасных участков.*

Статья посвящена наиболее социально значимым и наиболее опасным районам распространения овражно-балочной эрозии на территории Санкт-Петербурга и ее влияние на распределение транспортной составляющей (автомобильные дороги). История вопроса свидетельствует о том, что при изучении оврагов на территории Санкт-Петербурга не в полной мере использовались современные ГИС технологии. Целью исследования является повышение эффективности прогноза наводнений при различных условиях повышения уровня воды (на примере Санкт-Петербургского региона), направленное на правильное распределение техногенной нагрузки при строительстве и реконструкции автомобильных дорог.

Противоречие, послужившее началом исследований заключается в недостаточной изученности линейно-эрозионных процессов на территории г. Санкт-Петербурга и все возрастающей при этом техногенной нагрузки. Задачи исследования: анализ изученности распространения оврагов на территории Санкт-Петербурга, технология построения карты линейно-эрозионных форм территории (с применением ГИС-технологий), анализ содержания карты для определения рисков развивающихся процессов линейной эрозии в социально значимых зонах на территории города, формирование зависимости расположения овражно-балочного рельефа от глубинных разломов (линеаментов) и типов почв, прогнозирование последствий ЧС в связи с резким (лавинообразным) повышением уровня воды в условиях города. Для реализации основной задачи был произведен анализ рынка разработчиков настольных ГИС. Описываются используемые технологии и методы, произведен анализ района, получена карта-схема проявления овражно-балочной эрозии с помощью соответствующего программного обеспечения.

Научные результаты: разработана карта распространения линейно-эрозионных форм на территории Санкт-Петербурга, проведено моделирование развития линейно-эрозионных форм в условиях резкого увеличения уровня воды, разработана методика прогнозирования возникновения и развития линейно-эрозионных форм. Авторами предложена модель строительства обходов (автомобильные дороги) опасных участков на основе суммарных дисконтированных затрат. На данном этапе авторами начата работа по применению данной методики при строительстве и реконструкции дорог в Арктическом регионе РФ, где многие территории остро нуждаются в дорогах хорошего качества.

Для цитирования:
Шаталова Н.В., Бахарев Т.С. Методы и геоинформационные технологии, применяемые для расчета пораженности территории линейно-эрозионными процессами в социально значимых зонах в условиях насыщенности территории города транспортными инженерно-техническими сооружениями // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2015. – Том 9. – №5. – С. 69-73.

For citation:
Shatalova N.V., Baharev T.S. Methods and geo-information technologies used for evaluation of territory infestation with linear erosion processes in socially important areas under conditions of transport engineering and technical constructions density of urban territory. T-Comm. 2015. Vol 9. No.5, pp. 69-73. (*in Russian*).

При разработке проекта строительства автомобильных дорог, железнодорожных магистралей важную роль приобретают исследования по повышению эффективности прогноза наводнений при различных условиях повышения уровня воды [1, 3]. В ходе исследований было выявлено противоречие между недостаточной изученностью линейно-эрозионных процессов на территории города Санкт-Петербурга и повышением техногенной нагрузки.

Для начала необходимо было решить вопрос с выбором географической информационной системы (ГИС), предназначенной для визуализации и работы с пространственными данными и привязанной к ним информацией.

На рынке существует уже большое количество геоинформационных систем, общего применения и узконаправленного. Основные функции ГИС: ввод данных, хранение, построение запросов, анализ, отображение, вывод.

Для реализации основной задачи был произведен выбор ГИС. Кроме основных функций ГИС, выбранная система должна удовлетворять следующим критериям: доступность, «дружелюбный» интерфейс, пониженная требовательность к системным требованиям, кроме того, она должна поддерживать уже существующие и используемые для анализа данные. Специализированные ГИС, такие как ДубльГИС, K-MINE, Tekla Xpower, Горно-геологическая информационная система ГЕОМИКС были исключены сразу из-за другой направленности.

На рынке представлено несколько разработчиков настольных ГИС общего назначения: ESRI, Autodesk, INTERGRAPH, MapInfo Corporation и несколько разработчиков свободно-распространяемых ГИС (табл. 1). Последние не подходили из-за ограниченного инструментария и нетривиального взаимодействия с уже существующими данными.

AutoCAD Map 3D – интересный инструмент, но со специфическим интерфейсом, который требует дополнительного изучения.

MapInfo Professional удобный мощный инструмент, решающий все поставленные задачи. Как минус: необходимость переводить все имеющиеся данные в формат MapInfo.

GeoMedia – неожиданно приятный и многофункциональный продукт.

При создании карты распространения линейно эрозионных форм в Санкт-Петербурге на основе собранных материалов предпочтение было отдано двум системам компании ESRI: ArcView 3.2 и ArcGIS 9.2 (лицензия ArcView) [3,5].

Эти системы уже являются базовыми на многих предприятиях. При работе над данным проектом, их плюсом является то, что многие используемые данные уже существуют в форматах apr (проекты) и shp (сами данные), что является родными форматами выбранных систем.

Остальные преимущества: легкий в использовании интерфейс, доступ к множеству типов данных, объединение диаграмм, карт, таблиц и графики, мощные средства визуализации карт, усиленная функциональность создания отчетов Crystal Reports, обновление данных “на лету”.

Таблица 1

Характеристики геоинформационных систем

Разработчики ГИС	Характеристики
MapInfo Corporation (MapInfo Professional)	Эта система позволяет создавать и анализировать карты стран, территорий, районов, городов и всего, что может рассматриваться как карта или план. Созданная электронная карта может быть отображена различными способами, в том числе в виде высококачественной картографической продукции. MapInfo позволяет решать сложные задачи географического анализа на основе реализации запросов и создания различных тематических карт, осуществлять связь с удаленными базами данных, экспортировать географические объекты в другие программные продукты и многое другое.
INTERGRAPH (GeoMedia)	Технология GeoMedia является архитектурой ГИС нового поколения, позволяющая работать напрямую без импорта/экпорта одновременно с множеством пространственных данных в различных форматах. Это достигается применением специальных компонентов доступа к данным — Intergraph GeoMedia Data Server. На сегодняшний день пользователям GeoMedia доступны компоненты для всех основных индустриальных форматов хранилищ цифровых картографических данных: ArcInfo, ArcView, ASCII, AutoCAD, FRAMME, GeoMedia, GML, MapInfo, MGE, Oracle Spatial и др., включая растровые, табличные и мультимедийные данные. При этом пользователи могут разработать собственный GeoMedia Data Server. Компоненты Intergraph GeoMedia Data Server позволяют на одной карте увидеть и одновременно проанализировать данные из произвольного количества источников, хранящихся в разных форматах, системах координат, имеющие различную точность.
Autodesk (AutoCAD Map 3D)	AutoCAD Map 3D — решение для картографов, геодезистов и специалистов по ГИС, которое предоставляет возможности прямого доступа к разным форматам данных САПР и ГИС, их редактирования, визуализации и анализа в знакомой среде AutoCAD.
ESRI (ArcGIS 9 Desktop)	ArcGIS — семейство программных продуктов американской компании ESRI, одного из лидеров мирового рынка геоинформационных систем. ArcGIS позволяет визуализировать (представить в виде цифровой карты) большие объёмы статистической информации, имеющей географическую привязку. В среде создаются и редактируются карты всех масштабов: от планов земельных участков до карты мира. Также в ArcGIS встроен широкий инструментарий анализа пространственной информации. В состав ArcGIS 9 входит три приложения: ArcMap, ArcCatalog и ArcToolbox.
ESRI (ArcView GIS 3.2a)	ArcView 3.2 имеет очень простой пользовательский интерфейс, с возможностью его изменения. Этот продукт хорош тем, что его функциональность можно наращивать за счет отдельных модулей. Также в его состав входит язык программирования Avenue, используя который можно писать программы под свои нужды. Но и в базовой комплектации ArcView GIS включает сотни функций создания электронных карт и пространственного анализа, которые легко понять и применить. Этот программный продукт до недавнего времени был лидером в своей области, так как решал львиную долю потребностей. Но сейчас вышла новая версия продукта, кардинально отличающаяся от этой версии.

Карта состоит из линейных, полигональных и точечных слоев. Последний слой называется: «Uchastki» и содержит в себе информацию, зафиксированную на участках местности на объекте. Реки, проезды, изолинии состоят из линейных слоев. Полигональные слои на карте содержат информацию об административных районах, зданиях, акватории, участках оврагообразования.

В результате визуального анализа топографической основы масштаба 1:5 000 (программа Arc View GIS 3.2 и Arc Map) на территории Санкт-Петербурга были выделены участки, в пределах которых развиты различные виды склоновых эрозионных форм. Выделение участков осуществлялось путем оконтуривания характерных типов конфигурации изогипс рельефа дневной поверхности территорий (рис.1).

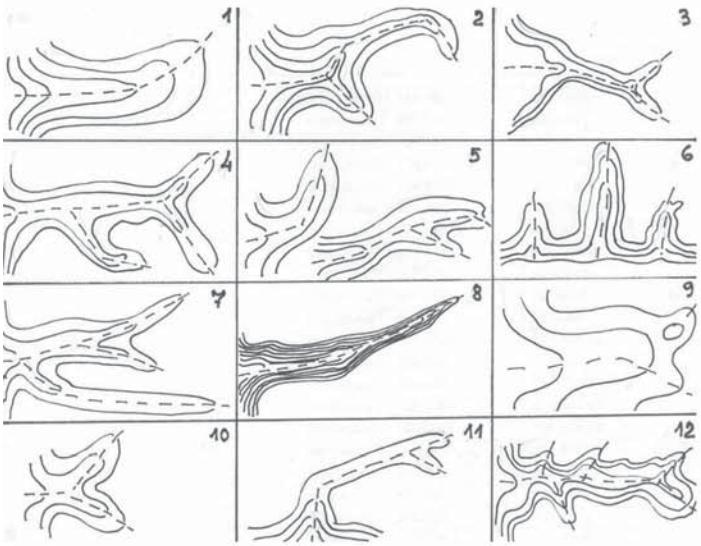

Рис. 1. Виды изогипс гидроэрозионных форм

На рисунке можно проследить более или менее резко очерченные и более сглаженные формы. Склоновые водно-эрозионные формы имеют характерные рисунки изогипс (1-12), меняющиеся от района к району, от бассейнов одной реки к другой. Все они характеризуются вытянутой конфигурацией в плане и своим основанием обращены к точке местного базиса эрозии [2].

На данном этапе еще не стояла задача типизации этих форм, однако со временем эта задача должна быть решена. Наиболее важным классификационным признаком может служить тангенс углов наклона бортов этих форм и другие признаки, например – длина, ширина и/или их отношения [4]. Отчетливые различия между формами по этим признакам можно наблюдать на рис. 1-1, где отражены широкая уплощенная малоконтрастная форма (очевидно, уже балка) и весьма контрастная, по-видимому, энергично развивающаяся овражная форма на рис. 1-8, скорее всего на 2-3 стадии. Для многих форм весьма характерно развитие «отвершков» (рис. 1-3 и др.), причем в ряде районов они формируют их своеобразный волнистый рисунок (рис. 1-12). Иногда эрозионные формы образуют гирлянды до 3-4 сопряженных форм (рис. 1-6). Весьма часто формы изгибаются от перпендикулярного направления в точке сочленения с сопряженным руслом реки – до направлений им параллельным (рис. 1-11).Всего на территории Санкт-Петербурга выделены более 700 участков, характеризующих различные виды эрозионных процессов и присущих им форм. Из таблицы 2 следует, что из 18 районов Санкт-Петербурга склоновыми эрозионными процессами поражены 12.

Таблица 2

Пораженность территории Санкт-Петербурга процессами линейной склоновой (овражно-балочной) эрозией

№ п/п	Районы Санкт-Петербурга	Кол-во участков	Площадь участков ($км^2$)	Площадь районов ($км^2$)	Поражение территорий (%)
1	Адмиралтейский	-	-	13,8	-
2	Василеостровский	-	-	16,7	-
3	Выборгский	54	0,4	115,5	0,4
4	Калининский	22	0,2	40,2	0,4
5	Кировский	1	0,02	47,4	0,04
6	Колпинский	147	2,3	102,5	2,2
7	Красногвардейский	62	0,7	56,4	1,3
8	Красносельский	39	1,2	91	1,3
9	Кронштадтский	-	-	19,4	-
10	Курортный	235	4,4	267,9	1,6
11	Московский	4	0,3	73,1	0,5
12	Невский	27	0,4	61,8	0,6
13	Петроградский	-	-	19,6	-
14	Петродворцовый	81	1,7	107,0	1,5
15	Приморский	12	0,4	109,9	0,3
16	Пушкинский	115	2,8	240,0	1,1
17	Фрунзенский	-	-	37,5	-
18	Центральный	-	-	17,8	-
Всего:		**799**	**14.6**	**1315**	**1,1**

Следует отметить, что подавляющее большинство участков составляют малоконтрастные формы, многие из которых уже завершили свои активные стадии развития или просто потенциально опасные в отношении развития при региональных изменениях базиса эрозии. Однако эти формы распространены в активно развивающихся и курортных районах города (рис. 2). Эти земли часто представляют собой неудобья и иногда оказываются выведенными из хозяйственного оборота.

Новообразования верховьев оврагов негативно сказываются на уже построенных автомобильных дорогах и железнодорожных магистралях. Данные исследования позволяют повысить эффективность прогноза разрушения рельефа при строительстве, реконструкции и эксплуатации транспортных инженерно-технических сооружений при различных условиях повышения уровня воды.

Данная методика исследований также применима и в других регионах, где вопросы оврагообразования и развития овражно-балочного рельефа, из-за особенностей подстилающих пород, стоят более остро.

В дальнейшем планируется разработка методики прогнозирования последствий чрезвычайных ситуаций в связи с резким повышением уровня воды в условиях города.

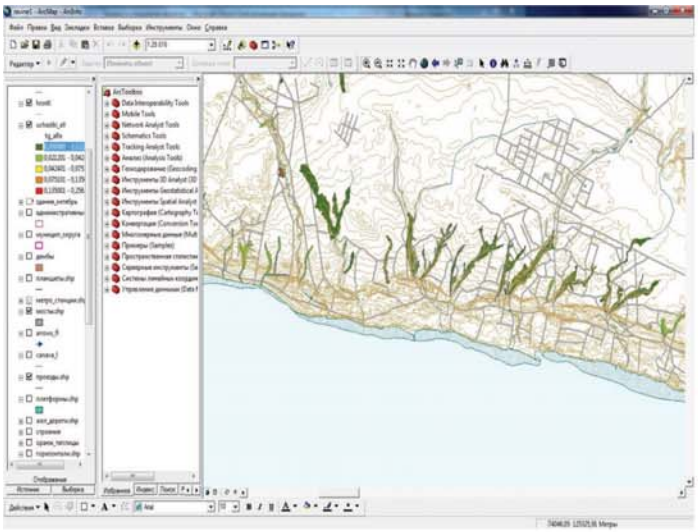

Рис. 2. Пример овражно-балочных форм рельефа в Курортном районе

Авторами предложена модель строительства обходов опасных участков на основе суммарных дисконтированных затрат [6,8,9].

В качестве критерия сравнения различных вариантов строительства обходов наиболее опасных мест использован показатель суммы дисконтированных затрат (транспортных и капиталовложений). Общий алгоритм расчетов вариантов имеет следующий вид:

$$P = \frac{\ell_n \cdot Ц_c \cdot N \cdot 365 \cdot M}{V \cdot 1000000} + K_н \cdot L + K_п,$$

где P – общая сумма расходов за условный период, млн.руб.; $\ell_п$ – протяженность пути движения транспорта, км; $Ц_с$ – усредненная стоимость одного машино-часа работы автомобиля, руб.; N – средняя интенсивность движения, автомобилей в сутки; V – скорость движения, км в час; L – протяженность участка строительства нового направления, км; $K_н$ – нормативная стоимость строительства одного километра участка дороги, тип и протяженность дороги определяются условиями варианта млн. руб.; $K_п$ – расходы на обустройство территории, включая перенос коммуникаций и пр., млн. руб.; M – коэффициент, определяющий соотношения суммы затрат за расчетный срок и затрат одного года эксплуатации, обычно предшествующему вводу объекта в эксплуатацию.

Расчеты проводились для суммарной интенсивности движения на автомобильной дороги в размере 10 тысяч автомобилей в сутки. Скорости потоков транспорта и стоимость строительства принимались на основе экспертных соображений работников проектных организаций, специалистов по эксплуатации автомобильных дорог.

Суммарные приведенные затраты вариантов рассчитывались для ситуаций последовательного нарастания удаленности точки начала дальнего обхода от границ участка, подверженного линейно-эрозийонным процессам с шагом обхода в зависимости от размываемости подстилающих пород. Для сопоставимости результатов необходимо, чтобы варианты минимального не изменяющегося обхода и прямого параллельного хода рассматривались в одних и тех же пределах удаленности для каждого шага. Затраты дорог на каждом шаге удаленности определяются расчетами стационарной модели на основе предложенного алгоритма.

Расчетами модели была определена динамика изменения затрат вариантов транспортных капиталовложений и общих при возрастании отдаленности от участка, подверженного линейно-эрозийонным процессам.

На данном этапе авторами начата работа по применению данной методики при строительстве и реконструкции дорог в Арктическом регионе Российской Федерации [5, 7, 10]. Где многие территории остро нуждаются в дорогах хорошего качества. Было проведено пространственное изучение проблемных в этом контексте зон, выявлены задачи которые необходимо решить для каждого конкретного субъекта России, находящегося на территории Арктической зоны.

Литература

1. *Бахарев Т.С, Гадышев В.А., Плотников Ю.А.* Применение геоинформационных систем для решения прикладных задач предупреждения чрезвычайных ситуаций // Проблемы управления рисками в техносфере, №1(13), 2010. – С. 12-17.
2. *Бахарев Т.С, Жамойда В.А, Зубарев С.Э, Й. Кляйн* и др. Геологический атлас Санкт-Петербурга. СПБ, Комильфо, 2009. – 57 с.
3. *Бахарев Т.С.* Описание методов и технологий, применяемых для расчета пораженности территории линейно-эрозионными процессами в социально значимых зонах в условиях насыщенности территории города транспортными инженерно-техническими сооружениями (на примере Санкт-Петербурга), Материалы международной научно-практической конференции «Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе». – Пермь, 2014. – С. 339-342.
4. *Зорина Е.Ф.* Овражная эрозия: закономерности и потенциал развития. – М.: ГЕОС, 2003. – 169 с.
5. Современное состояние проблемы совершенствования транспортной инфраструктуры // Технико-технологические проблемы сервиса, 2013. – №4(26). – С. 71-74.
6. *Тимченко В.С.* Потенциальные возможности расширения круга задач, решаемых с помощью мониторинга в транспортном комплексе // Молодой ученый, 2014. – №4. – С. 273-276.
7. *Федоров В.П., Шаталова Н.В.* Стратегия долгосрочного развития магистральных автомобильных дорог // Транспорт Российской Федерации. – Т. 21. – №2. – 2009. – С. 20-22.
8. *Шаталова Н.В., Куватов В.И., Онов В.А.* Пути совершенствования перевозок и повышения безопасности автотранспорта // Проблемы управления рисками в техносфере. – 2013. – №2. – С. 96-109.
9. *Шаталова Н.В.* Обоснование стратегии развития магистральных автомобильных дорог в составе транспортных коридоров // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе, 2013. – Т.3. – С. 478-489.
10. *Шаталова Н.В.* Иерархический метод выбора рационального варианта реконструкции автомобильных дорог вблизи населенных пунктов // Интернет-журнал «Науковедение», 2014. – №2(21) [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://naukovedenie.ru/PDF/ 96TVN214.pdf, свободный. – Загл. с экрана.

METHODS AND GEO-INFORMATION TECHNOLOGIES USED FOR EVALUATION OF TERRITORY INFESTATION WITH LINEAR EROSION PROCESSES IN SOCIALLY IMPORTANT AREAS UNDER CONDITIONS OF TRANSPORT ENGINEERING AND TECHNICAL CONSTRUCTIONS DENSITY OF URBAN TERRITORY

Shatalova N.V., *St Petersburg, Russia,* ***shatillen@mail.ru***
Baharev T.S., *St Petersburg, Russia,* ***tsbspb@gmail.com***

Abstract
This article is devoted to socially important and dangerous regions of gully-balk erosion advancing on the territory of St. Petersburg and its impact on accommodation of transport components (roads). The history of this issue confirms that while researching ravines in St. Petersburg, modern GIS technologies were not used to the full extend. The research purpose is efficiency upgrading of flood forecast in different conditions of water level raising (through an example of the St. Petersburg region), aimed at correct accommodation of development pressure while construction and reconstruction of roads. The discrepancy is in insufficient study of linear erosion processes in St. Petersburg and the increasing development pressure. Research tasks: analysis of study of ravines spreading in St. Petersburg, technology of construction of the map of linear and erosion shapes on the territory (using GIS technologies), analysis of the map content for determination of risks of developing processes of linear erosion in socially important areas of the city, shaping of dependence of location of gully bulk relief on deep faults (linearments) and soil types, forecasting of emergency consequences due to the fact connected with sharp rise (avalanche type) of the water level in the city. To implement primary target, analysis of the market of developers of table GIS was carried out. Applied technologies and methods are being described, analysis of the region has been carried out, base map of gully-bulk erosion developing has been done with the help of the respective software. Scientific results: map of spreading of gully-bulk erosion in St. Petersburg is worked out, modeling of development of gully-bulk erosion forms has been carried out in conditions of rapid raise of water level, method of forecasting of origin and development of gully-bulk erosion forms. Authors proposed a model of turnouts' construction (roads) of dangerous zones on the basis of summarized discounted expenses. At this stage authors have started a work of application of this method while construction and reconstruction of roads in the Arctic Region of the Russian Federation, where most territories are badly in need of roads of good quality.

Keywords: *geoinformation technologies, linearly erosion processes, transport engineering structures, technogenic load, avoid hazardous areas.*

1. *Zorina E.F.* Ovrazhnaja jerozija: zakonomernosti i potencial razvitija. Moscow.: GEOS. 2003. 169 p. (*in Russian*).
2. *Baharev T.S, Gadyshev V.A., Plotnikov Ju.A.* Primenenie geoinformacionnyh sistem dlja reshenija prikladnyh zadach preduprezhdenija chrezvychajnyh situacij. Problemy upravlenija riskami v tehnosfere. No. 1(13),2010, pp. 12-17. (*in Russian*).
3. *Baharev T.S, Zhamojda V.A, Zubarev S.Je, J. Kljajn* etr. Geologicheskij atlas Sankt-Peterburga. SPB, Komil'fo, 2009. 57 p. (*in Russian*).
4. *Baharev T.S.* Opisanie metodov i tehnologij, primenjaemyh dlja rascheta porazhennosti territorii linejno-jerozionnymi processami v social'no znachimyh zonah v uslovijah nasyshhennosti territorii goroda transportnymi inzhenerno-tehnicheskimi sooruzhenijami (na primere Sankt-Peterburga), Materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii "Modernizacija i nauchnye issledovanija v transportnom komplekse". Perm', 2014, pp. 339-342. (*in Russian*).
5. *Lazarev Ju.G., Sinicyna E.B.* Sovremennoe sostojanie problemy sovershenstvovanija transportnoj infrastruktury. Tehniko-tehnologicheskie problemy servisa. 2013. No. 4 (26), pp. 71-74. (*in Russian*).
6. *Timchenko V.S.* Potencial'nye vozmozhnosti rasshirenija kruga zadach, reshaemyh s pomoshh'ju monitoringa v transportnom komplekse, Molodoj uchenyj. 2014. No. 4, pp. 273-276. (*in Russian*).
7. *Fedorov V.P., Shatalova N.V.* Strategija dolgosrochnogo razvitija magistral'nyh avtomobil'nyh dorog. Transport Rossijskoj Federacii. Vol. 21. No. 2. 2009, pp. 20-22. (*in Russian*).
8. *Shatalova N.V., Kuvatov V.I., Onov V.A.* Puti sovershenstvovanija perevozok i povyshenija bezopasnosti avtotransporta. Problemy upravlenija riskami v tehnosfere. 2013. No. 2. pp. 96-109. (*in Russian*).
9. *Shatalova N.V.* Obosnovanie strategii razvitija magistral'nyh avtomobil'nyh dorog v sostave transportnyh koridorov, Modernizacija i nauchnye issledovanija v transportnom komplekse. 2013. Vol. 3. pp. 478-489. (*in Russian*).
10. *Shatalova N.V.* Ierarhicheskij metod vybora racional'nogo varianta rekonstrukcii avtomobil'nyh dorog vblizi naselennyh punktov // Internet-zhurnal "Naukovedenie", 2014. No.2 (21) [Jelektronnyj resurs]. Moscow. Naukovedenie, 2014. http://naukovedenie.ru/PDF/96TVN214.pdf, svobodnyj. Zagl. s jekrana. Jaz. rus., angl. (*in Russian*).

Information about authors:
Shatalova N.V., Solomenko Institute of Transport Problems of the Russian Academy of Sciences, St Petersburg, Russia;
Baharev T.S., Solomenko Institute of Transport Problems of the Russian Academy of Sciences, St Petersburg, Russia.

For citation:
Shatalova N.V., Baharev T.S. Methods and geo-information technologies used for evaluation of territory infestation with linear erosion processes in socially important areas under conditions of transport engineering and technical constructions density of urban territory. T-Comm. 2015. Vol 9. No.5, pp. 69-73. (*in Russian*).

ПОИСК СПОСОБОВ УМЕНЬШЕНИЯ АКТИВНОГО ТРАНЗИТА

Птицын Герман Александрович,
к.т.н., профессор кафедры информационной безопасности и автоматизации МТУСИ, Москва, Россия,
ovd@media-publisher.ru

Ключевые слова: *транзитная сеть, модель интенсивности межузлового потока, активный и пассивный транзит, прокладка сквозных маршрутов, транзит в узлах разделенного центра.*

Модели интенсивности транзитных потоков типовых структур выражены через число межузловых потоков (МУП). Введены понятия пассивного и активного транзита. При пассивном транзите груза, пассажиры остаются в транспортном средстве во всех промежуточных узлах. Активный транзит предполагает пересадки, перегрузки на другие маршруты, что вызывает необходимость организации системы логистики в пересадочном узле [3?5]. Особенно большая работа требуется для грузов, в том числе, почтовых: выгрузка, сортировка, перемещение на другую линию, сортировка по пунктам исходящего маршрута, хранение, погрузка на отходящий транспорт. Это побуждает к поиску возможностей уменьшения активного транзита. Одна из них это прокладка сквозных маршрутов. Но насколько они эффективны неизвестно. Другой способ заключается в отводе части МУП, например, по кольцу, минуя центр. Анализ потоков в исходной сети, после прокладки сквозных маршрутов или кольцевой линии, требует решения ряда задач. Первая и ключевая – выбор модели интенсивности МУП [2].
Другая – это оценка транзита в центре РУС без и при наличии сквозных маршрутов. В основу модели интенсивности МУП взяты два предположения: 1 – известны значения W – совместимости и T – период движения транспорта, 2 – находится дуга (перегон) с максимальной нагрузкой по числу МУП. Число маршрутов через центр РУС изменяется по квадратичной зависимости от числа радиусов, а прокладка сквозной (диаметральной) линии переводит всего лишь два маршрута из активного в пассивный.

Для цитирования:
Птицын Г.А. Поиск способов уменьшения активного транзита // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2015. – Том 9. – №5. – С. 74-78.

For citation:
Ptitsyn G.A. Research in active transit reducing. T-Comm. 2015. Vol 9. No.5, pp. 74-78. (*in Russian*).

1. Динамика транзита в радиально-узловой сети.

Принимаем, что межузловые потоки одинаковы по интенсивности, длины дуг равны, радиальные линии имеют одинаковые размеры a (по числу узлов без центра). Транзитные потоки в центре РУС оцениваем числом межузловых потоков, интенсивность которых зависит от значений максимальной нагрузки дуг в радиальной линии и от размеров движения транспортных средств. Это означает, что известны их вместимость (W) и период движения (T). В радиально-узловой сети максимальная нагрузка будет наблюдаться в дугах смежных с центром. РУС считаем развивающейся с регулярным приращением по числу радиусов (радиальных линий) и по размеру каждой линии. Диапазон изменения a – размера радиальной линии от единицы (это звезда) и более.

Каждый узел сети полнодоступен как по исходящим, так и по входящим потокам. Центра независимо от числа радиальных линий будем считать одним узлом. Во-первых, из множества известных моделей МУП требуется подобрать модель интенсивности межузловых потоков наиболее близко отображающей и структуру сети, и технические возможности транспортных средств.

Необходимо установить, как меняются транзитные потоки в центре РУС при увеличении размера радиуса или числа радиальных линий. Центр независимо от числа радиальных линий будем считать одним узлом.

Другая задача заключается в том, чтобы изыскать возможности, способы уменьшить активный транзит в центре РУС или превратить его в пассивный.

Радиально-узловая сеть относится к числу двумерных. Одно измерение это r – число радиальных линий, другое a – размер радиальных линий. Считаем, что радиальные линии заканчиваются в центре тупиками.

Если в центре сходятся две радиальные линии, то при любых значениях их размеров целесообразно объединить их в диаметр. При этом весь активный транзит целиком превращается в пассивный. А центр будет обслуживать только собственные входящие и исходящие потоки. С увеличением r – числа радиальных линий, находящихся в центре, количество маршрутов возрастает пропорционально m = r (r – 1). Размеры сети по числу узлов n = ar + 1.

Транзит в радиальной линии в любом узле считается по правилу произведения сумм сторон относительно разреза, проходящего через рассматриваемый узел и за исключением его, а транзит является пассивным (в узлах, связность которых равна двум). Объем потока входящего (исходящего) в один (любой) узел для всей сети равен

$$Q_{\text{вх}} = (a-1) + a(r-1) + 1 = ar$$

Общий объем потока входящего во все узлы сети

$$\Sigma Q_{\text{вх}} = nQ_{\text{вх}} = ar(ar+1) \text{ или } \gamma = n(n-1)$$

Очевидно, что для любого узла пассивный транзит лучше, чем активный, так как грузы (пассажиры) остаются в транспортном средстве и узел обслуживает только собственные входящие потоки. Активный транзит требует построения логистической системы для обслуживания потоков, перемещения их от входящей радиальной линии к исходящим внутри центрального узла.

Объем входящего активного транзита в центральный узел от одного из радиусов пропорционален квадрату размера радиальной линии и числу оставшихся радиальных линий

$$\beta_{\text{1акт}}^{\text{тр}} \equiv a^2(r-1).$$

Общий объем активного транзита, входящего в центр от всех радиальных линий

$$\sum \beta_{\text{акт}}^{\text{тр}} \equiv a^2 r(r-1)$$

и весь этот транзит после обработки превращается в исходящий активный транзит.

Одна из задач проектирования системы логистики внутри центра радиально-узловой сети заключается в уменьшении объема активного транзита и/или превращения его в пассивный. Это достигается, например, прокладкой сквозных маршрутов через центр. Но поскольку число маршрутов растет как m = r(r-l), то ограничиваются, как правило, строительством диаметральных линий, что подтверждается практикой построения и эксплуатации Московского метрополитена.

Диаметральная линия объединяет два сквозных встречных маршрута. Для сравнения потоков в сетях разного размера, как по числу радиусов, так и по их длине целесообразно перейти к относительным величинам:

$$\frac{\Sigma \beta_{\text{акт тр}}}{\gamma} = \frac{a(r-1)}{ar+1}.$$

С увеличением a и r отношение $\Sigma\beta_{\text{акт тр}}/\gamma$ стремится к единице.

2. Выбор модели интенсивности межузлового потока

Оценка потоков между двумя взаимодействующими зонами – это ключевая задача при проектировании и построении системы перевозки, как пассажиров, так и грузов, в том числе, почтовых. Одна из первых моделей сводилась к тому, что взаимодействие между поселениями, приводящими к формированию грузо-пассажиропотоков аналогично физическим законам гравитации.

Но это направление не получило применения. Широкое распространение получили модели вероятного распределения исходящего потока от i-ой зоны A_i

$$C_{ij} = \frac{A_i B_j f(d_{ij})}{\Sigma_1^n B_j f(d_{ij})}, \text{ [Шацкий, 1936], [Писарев, 1945].}$$

Отношение $\frac{B_j f(d_{ij})}{\Sigma_1^n B_j f(d_{ij})}$ – это вероятность стока части потока A_i в j-ой зоне.

В более простом виде вероятностная модель применялась при планировании перевозок в Детройте [Каррол, 1956].

$$C_{ij} = A_i \frac{B_j}{\Sigma B_j}.$$

Однако заполнение по этим формулам шахматной таблицы МУП приводит к навязкам. Для балансировки элементов шахматки Горлов В.И. предложил следующую процедуру

$$C_{ij} = A_i \left(\frac{B_j}{\Sigma B_j - B_j} \right).$$

Это означает, что часть потока A_i не может быть слита (перевезена) как часть B_i, т.е. $C_{ii} = C_{ij} = 0$. Если в качестве примера взять метрополитен, то A_i – это интенсивность исходящего потока от i-ой станции маршрута (линии). За период объема информации (пассажиры входящие в метро через турникеты оплаты) Bj – это пассажиры, выходящие из i-ой станции метро и регистрируемые фотодатчиками. Впервые удалось связать и выразить эти потоки через размеры движения транспортных средств.

Идея, что интенсивность межузловых потоков зависит от размеров движения транспортных средств, т.е. W – вместимость и T – период их движения изложена в [1]. Если на маршруте, линии, транспортно-распределительной системе обслуживается n станций, то нагрузка i-ой дуги (перегона) считается по правилу приведения сумм сторон относительно разреза дуги $\beta_i = i(n-i)$

Из этого выражения находится дуга с максимальной нагрузкой $\beta_{max} = n^2/4$ (n – четное), $\beta_{max} = (n^2-1)/4$ (n – нечетное). Тогда интенсивность межузлового потока (МУП) равна

$$C_{ij} = \lambda_{ij} = \frac{W}{(T * \beta_{max})}$$

Все величины, входящие в выражение для интенсивности МУП, имеют числовые значения, что позволяет рассчитать исходящие, входящие, транзитные потоки в узлах, нагрузку дуг, объем перевозок по сети и другие показатели за единицу времени.

Полученные значения $C_{ij} = \lambda_{ij} =$ const, т.е. интенсивность МУП одинакова для всех пар узлов сети и зависит только от двух величин: размеров движения транспортных средств W/T и максимального значения нагрузки дуг β_{max} по числу МУП. Такой подход значительно упрощает расчеты, что позволяет использовать его в учебном процессе при проведении практических занятий.

Приведенные выше выражения для β_{max} действительны только для линейной (разомкнутой) сети. Для других структур выражения для β_{max} меняются. Так для «звезды» β_{max} = (n – l), для радиально-узловой сети с параметрами (a, r – размер и число радиальных линий) $\beta_{max} = a(ar - a + 1)$, для однонаправленного кольца $\beta_{max} = n(n-1)/2$, для двунаправленного кольца с учетом оптимизации длины пути $\beta_{max} = n^2/8$ (n – четное), $\beta_{max} = (n^2-1)/8$ (n – нечетное).

3. Влияние прокладки диаметральных линий на уменьшение активного транзита

Принимаем, что число радиальных линий в центре радиально-узловой сети нарастает прямолинейно, начиная с дуг с регулярным приращением. Установим зависимость активного транзита в центре радиально-узловой сети от числа r и размера a радиальных линий в абсолютном и относительном виде.

Центр независимо от числа радиальных линий считаем одним общим узлом. Тогда $n=a*r+1$, $\gamma = ar*(ar+1)$, n – это число узлов сети, γ – число соединений (межузловых потоков). Величина активного транзита, входящего в центр, от одной из радиальных линий $\beta_{тр}^{акт} = a^2(r-1)$.

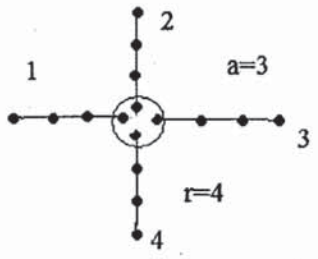

Рис. 1. Пример построения радиально-узловой сети (a=3, r=4)

Общий объем активного транзита, входящего в центр со всех r – радиальных линий, $\Sigma\beta_{тр}^{акт} = a^2r(r-1)$.

Принимаем, что объем исходящего транзита численно равен объему входящего. Установим долю активного транзита по сравнению с общим объемом перевозимых грузов (пассажиров)

$$d * \beta_{тр}^{акт} = \frac{\Sigma\beta_{тр}^{акт}}{\gamma} = \frac{a(r-1)}{ar+1}.$$

При r = 2 возможна и целесообразна прокладка одной диаметральной линии. Весь транзит из активного целиком переходит в пассивный при любых значениях a. Центр будет обслуживать только собственные исходящие и входящие потоки.

При r = 3 через центр радиально-узловой сети проходит уже шесть маршрутов. Прокладка одного сквозного маршрута позволяет обслуживать $\beta_{тр}^{шас} = 2a^2$ межузловых потоков в пассивном режиме, что составляет одну треть от общего объема транзита. Доля активного транзита составит две трети от общего объема. Опыт строительства и эксплуатации трамваев, метро показывает, что возможна прокладка двух сквозных маршрутов. В этом случае в пассивный режим переходит две трети от общего объема транзита. Но приходится решать задачу по развязке потоков поездов (вагонов) в одном уровне с помощью стрелочных переводов,

С увеличением r - числа радиальных линий, сходящихся в центре радиально-узловой сети, количество маршрутов возможностей пропорционально m = r(r – l), т.е. по квадратичной зависимости.

При r = 4 через центр проходит уже 12 сквозных маршрутов, что требует (теоретически) прокладки шести диаметральных линий, но на практике ограничиваются одной, двумя. Прокладка каждого переводит из активного в пассивный всего лишь два сквозных встречных маршрута, что составляет одну шестую от общего объема транзита. Объем активного транзита, входящего в центр от всех радиальных линий

$\beta_{тр}^{акт} = 3a^2 = a^2(r-1)$.

Общий объем активного транзита, входящего в центр от всех радиальных линий (без диаметров)

$\Sigma\beta_{тр}^{акт} = a^2r(r-1) = 12a^2$.

Прокладка двух диаметров (1-3, 3-1) и (2-4, 4-2) переводит из активного в пассивный не более одной трети от

общего объема. $\beta^{пас}_{1-3} = a^2 = \beta^{пас}_{3-1}$; $\beta^{пас}_{2-4} = a^2 = \beta^{пас}_{4-2}$. Общий объем пассивного транзита $\Sigma\beta_{пас} = 4a^2$.

Доля активного транзита через центр составляет две трети от общего.

Если r = 5, то m = 20. При одной диаметральной линии $\beta_{пас} = 2; d\beta_{пас} = 0{,}1$. При двух диаметрах $\beta_{пас} = 4; d\beta_{пас} = 0{,}2$. При трех диаметрах $\beta_{пас} = 6; d\beta_{пас} = 0{,}3$.

Если r = 6, то m = 30.

При одном диаметре $\beta_{пас} = 2; d\beta_{пас} = 0{,}066$. При двух диаметрах $\beta_{пас} = 4; d\beta_{пас} = 0{,}132$. При трех диаметрах $\beta_{пас} = 6; d\beta_{пас} = 0{,}2$.

Если r = 8, то m = 56.

При одной диаметральной линии $\beta_{пас} = 2; d\beta_{пас} = 0{,}036$. При двух диаметрах $\beta_{пас} = 4; d\beta_{пас} = 0{,}071$. При трех диаметрах $\beta_{пас} = 6; d\beta_{пас} = 0{,}107$. При четырех диаметрах $\beta_{пас} = 8; d\beta_{пас} = 0{,}143$.

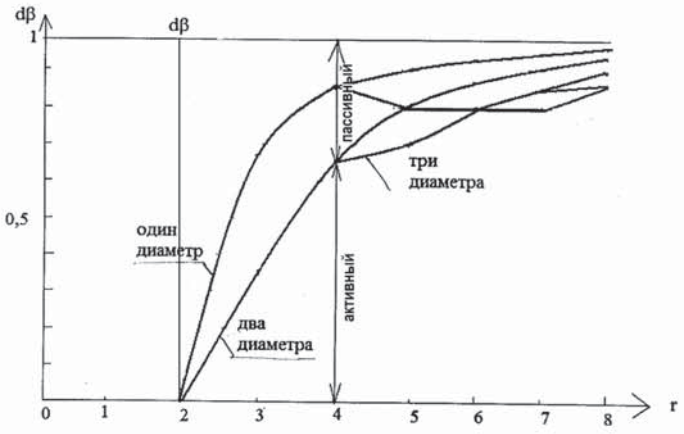

Рис. 2. Зависимости доли пассивного (активного) транзита от числа радиальных линий и диаметров

Итак, с увеличением r доля транзита через центр возрастает пропорционально m = r(r − l), а прокладка диаметра переводит лишь два встречных сквозных маршрута из активного в пассивный. Если принять, что при четном r возможна прокладка $d = r/2$ диаметров максимально, то доля пассивного транзита составит всего лишь $d\beta_{пас} = 1/(r-1)$ от общего объема. Если в качестве примера радиально-узловой сети рассмотреть Московский узел, который содержит девять вокзалов, то надо иметь в виду, что каждый вокзал обслуживает десятки маршрутов дальнего следования и еще большее количество пригородных маршрутов, поэтому вопрос о прокладке сквозных маршрутов через центр теряет смысл. Все прибывающие в Москву пассажиры, грузы образуют активный (пересадочный) транзит.

4. Анализ потоков в узлах разделенного центра

Прокладка сквозных (диаметральных) линий (маршрутов) эффективна лишь при малом числе радиальных линий. При шести радиальных линиях возникает тридцать сквозных маршрутов. Прокладка трех диаметров переводит транзит из активного в пассивный всего лишь на шести маршрутах. Из них половина – встречные. Поэтому в точке пересечения необходимо обслуживать в активном режиме 24 маршрута – это 80% из общего транзита. Потоки на станциях и переходах остаются очень плотными. Возникает идея разнести точки пересечения диаметров с удалением не более одной дуги. Возникает две альтернативы делать пересадку с одной линии на другую. Одна по кратчайшему пути – через одну дугу, но с двумя пересадками (из А в В через С). Другая – по длинному пути в две дуги, но с одной пересадкой (из А в В). По времени обе альтернативы примерно одинаковы с учетом времени ожидания транспортного средства.

Считаем, что длины радиусов от точки пересечения до конца одинаковы и равны а. Нагрузка дуги при подходе к точке пересечения из периферии $\beta_a = a*(5a+3)$ при любом варианте пересадки. Активный транзит в точке пересечения (с линии А на линию С) $\beta_a = a*(2a+1)$. Точно такой же поток возникает встречно с линии С на А $\Sigma\beta_A = 2a*(2a+1)$. Нагрузка дуги треугольника $\beta_т = 2*(a+1)*(2a+1) = 4a^2+6a+2$. При значении $a = 1 \div 3$ нагрузка дуги треугольника больше максимальной нагрузки дуги радиуса. При значениях a>4 нагрузка дуги треугольника становиться меньше $\beta_т < \beta_0$ дуги радиуса. В целом по узлу АС $\Sigma\beta_{AC} = 4a*(2a+1)$. По всем трем точкам пересечения активный транзит точно такой же, как в одной точке пересечения трех диаметров.

Таким образом, транзитный поток в одной из точек пересечения диаметров в три раза меньше, чем в совмещенном центре.

Выводы

1. В основу модели интенсивности межузлового потока положены два предположения: первое – известны значения вместимости и периода движения транспортных средств, второе – выбрана структура транспортной сети, что позволяет определить нагрузку дуг, в том числе, максимальную по числу МУП.

2. Число маршрутов через центр радиально-узловой сети изменяется по квадратичной зависимости от числа радиусов, а прокладка сквозной (диаметральной) линии переводит всего лишь два маршрута из активного в пассивный.

3. Обработка активного транзита в центре РУС требует организации системы логистики для проведения работ по выгрузке, перемещению на другую линию, сортировке по пунктам исходящего маршрута, хранению, погрузке на отходящий транспорт.

4. Разнесение точек пересечения трех диаметральных линий на одну дугу позволяет уменьшить активный транзит в каждом узле в три раза по сравнению с совмещенным центром.

Литература

1. *Птицын Г.А.* Прогнозирование потоков в ячеистых сетях. Учебное пособие. Под ред. А.В. Петракова – М.: МТУСИ, 2010, - 90 с.

2. *Гольц Г.А.* Транспорт и расселение. – М.: Наука. – 248 с.

3. *Стягов А.А., Эпштейн Г.Л.* Задача о добавлении дуг фиксированной стоимости в транспортной сети. – М.: МИИТ, 2014.

4. *Максимей И.В., Сукач Е.И., Гируц П.Л.* Определение интегрального максимального потока в региональной сети с помощью имитационного моделирования. Математические машины и системы. Выпуск 2, Том 1, 2008.

5. *Вильсон А.Дж.* Энтропийные методы моделирования сложных систем: Пер. с англ. / Под. ред. Ю.С. Попкова, с добавлением Ш.С. Имельбаева и Б.Л. Шмульяна. – М.: Наука, 1978.

RESEARCH IN ACTIVE TRANSIT REDUCING

Ptitsyn G.A., *Moscow, Russia,* ***mail@kibia.ru***

Abstract

Transit stream models described in [1]. Streams intensity expressed with count of internode streams. There are two types of transit streams: active and passive. Active transit streams include route switching and needed in logistics system form in transport point. It's an actual issue for postal transport processing, such as sorting, shipping and filling. Active transits may be reduced by organizing through routes, but efficiency of this method is unknown. Another method to reduce active transits is transferring internode streams to the circular lines. At first, it's needed to solve some problems. First problem is intensity model selection. Second problem is estimation of transit in radially-node network with/without through routes. Intensity model based on two assumptions: first – capacity and period of transport moving are known and second – there is a transition loading for count of internode streams. Count of routes radially-node network change on the quadratic with count of radius. Organizing through lines leads to switch only two active transits to passive.

Keywords: *active transit streams, postal transport processing, reducing active tran-sits, internode streams, radially-node network.*

References

1. *Ptitsyn G.A.* Stream forecasting in cellular networks. MTUCI. Moscow. 2010. 90 p. (in Russian)
2. *Golc G.A.* Transport and resettlement. Nauka. Moscow. 1981. 248 p. (*in Russian*).
3. *Styagov A.A. Epshtain G.L.* The task of adding arcs to transport network. MIIT. Moscow. 2014. (in Russian)
4. *Maksymei I.V., Sukach E.I., Giruc P.L.* Simulation of calculation of maximal integral stream in regional network. Matematicheskie mashiny i sistemy, vypusk 2. Vol. 1. 2008, pp. 99-104. (in Russian)
5. *Wilson A.* Entropy methods of difficult systems simulation. Nauka. Moscow. 1978. (in Russian).

Information about author: *Ptitsyn G.A., professor, Moscow technical university of communications and informatics, Moscow, Russia.*

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНТРОЛЬНОЙ ФУНКЦИИ В МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЙ ОРГАНИЗАЦИИ СПЕЦИАЛЬНОЙ КОМПЕТЕНЦИИ ДЛЯ ПЕРЕХОДА К МЕНЕДЖМЕНТУ, ОРИЕНТИРОВАННОМУ НА РЕЗУЛЬТАТЫ

Артемьева Галина Станиславовна,
к.э.н., доцент, профессор кафедры менеджмента, Московский технический университет связи и информатики, Москва, Россия, ***artemieva-g-s@yandex.ru***

Куликова Кристина Николаевна,
ст. препод. кафедры менеджмента, Московский технический университет связи и информатики, Москва, Россия, ***homaichek@yandex.ru***

Резникова Наталья Петровна,
д.э.н., профессор, зав. кафедрой менеджмента,Московский технический университет связи и информатики, Москва, Россия, ***rnp@mtuci2.ru***

Ключевые слова: *функциональное моделирование, стандарт IDEF0, контрольное подразделение, контекстная диаграмма, декомпозиция, межгосударственная организация специальной компетенции, Международный союз электросвязи (МСЭ).*

Исходя из того, что Полномочная конференция МСЭ, имевшая место в 2014 г. (Южная Корея), поставила целью выполнение важных стратегических задач в интересах развития электросвязи в мире, требуется изменение его культуры, повышение эффективности управления, ориентированного на результаты (Резолюция 151, ПК-14), совершенствование риск-менеджмента в этой межгосударственной организации специальной компетенции и многое другое. Одним из механизмов повышения эффективности менеджмента Государства-члены МСЭ видят в укреплении функции внутреннего аудита путем формирования контрольного подразделения, что являетсясравнительно новым, достаточно сложным и трудоемким процессом, который требует от организации дополнительных временных, финансовых и людскихресурсов, что достаточно сложно обеспечить в условиях снижения доходов МСЭ, получаемых за счет добровольных взносов его членов.Для описания процесса создания и обеспечения функционирования контрольного подразделения в Союзе использованы возможности функционального моделирования (методология IDEF0). Представлены контекстная диаграмма процесса формирования Комитета МСЭ, а также – результаты ее декомпозициидо диаграмм второго уровняс целью детального описанияпоследовательностивыполнения названного выше процесса. Охарактеризована тематика вопросов и проблем, которые обсуждались на четвертом собрании рабочей группы Совета МСЭ по финансовым и людским ресурсам (РГС ФЛР) для подготовки к сессии Совета МСЭ (май, 2015 г.), и которые имеют большое значение с точки зрения осознания направлений и объемов работы по реализации решений и резолюций ПК-14 на ближайшие четыре года. Основные вопросы: трудности достижения сбалансированного по доходам и расходам бюджета МСЭ на 2016-2017 гг. и поиск путей повышения эффективности расходования ограниченных ресурсов организации. Обзор и результаты основных дискуссий могут позволить читателям взглянуть на некоторые обсуждаемые вопросы с другой точки зрения, чем на них смотрят авторы, а, следовательно, дать новый импульс поиску ответов на те вопросы, которые пока остаются нерешенными.

Для цитирования:
Артемьева Г.С., Куликова К.Н., Резникова Н.П. Совершенствование контрольной функции в межгосударственной организации специальной компетенции для перехода к менеджменту, ориентированному на результаты // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2015. – Том 9. – №5. – С. 79-85.

For citation:
Reznikova N.P., Artemieva G.S., Kulikova K.N. Improvement of control function in the interstate specialized organization for the transition to result-oriented management. T-Comm. 2015. Vol 9. No.5, pp. 79-85. (*in Russian*).

Международный союз электросвязи (далее МСЭ, Союз) является старейшей профессиональной международной организацией (МО), входящей в систему агентств Организации объединенных наций (ООН). Результаты его работы оказывают влияние на процессы развития глобальных инфокоммуникаций с учетом суверенных национальных интересов (в вопросах разработки технических стандартов регулирования радиочастотного спектра, гармонизации современных технологий и стандартов и безопасности ИКТ, при формировании критериев развития современного информационного общества и проч.). В мае 2015 г. МСЭ отметит свое 150-летие.

В последнее десятилетие в специализированных учреждениях системы ООН большое внимание уделялось вопросам обеспечения более строгого аудита, прозрачности и подотчетности при формировании их систем реализации функции контроля. Формирование контрольного подразделения стало новым, достаточно сложным и трудоемким для Союза процессом, который потребовал от МСЭ значительных дополнительных ресурсов: временных, финансовых и людских. И нельзя сказать, что процесс формирования завершен.

Слишком много интересов он затрагивает. Поэтому, чтобы учесть как можно больше факторов, была поставлена задача формализовать алгоритм процесса формирования контрольного подразделения (далее – Процесса), для чего были применены специальные средства отображения и моделирования всех этапов работы, проводимых по этому проекту в МСЭ, а именно функциональное моделирование [3, 6, 7].

Сегодня только ленивый не пишет о том, что функциональное моделирование – мощный инструмент анализа и проектирования процессов. Но это действительно так, о чем свидетельствуют примеры использования его в управлении проектами, бизнесе, оборонной промышленности, телекоммуникациях и прочих сферах деятельности. Методология IDEF0 – это один из наиболее популярных видов методологий моделирования бизнес-процессов стандартов (нотаций, методологий) IDEF-методологии семейства ICAM (Integrated Computer-Aided Manufacturing), основанный на методологии структурного анализа SADT (Structured Analysis & Design Technique) [2, 4].

В соответствии с правилами стандарта IDEF0 были сформулированы цель и точка зрения моделирования процесса для изучаемой организации – МСЭ. Поскольку, как уже отмечалось, формирование контрольного подразделения стало новым, сложным и трудоемким для Союза процессом, то цель моделирования была сформулирована, как *«структуризация процесса создания и обеспечения функционирования комитета по надзору в МСЭ, оценка его необходимости, эффективности и дальнейшей деятельности»*. Точка зрения представлена нами как точка зрения Государств-членов МСЭ, Совета и Генерального секретаря. Это вполне обосновано, поскольку предполагалось, что комитет по надзору будет выступать в экспертно-консультативном качестве и помогать руководству МСЭ в выполнении его функций.

На рисунке 1 представлена контекстная диаграмма(A-0), с которой началось построение функциональной модели Процесса на основе стандарта IDEF0, где входной поток – информационные материалы, выходной – Комитет, управляющий поток – указания руководства МСЭ и ряд рекомендаций, и, наконец, механизм преобразования – рабочие группы Совета МСЭ и его члены.

Рис. 1. Контекстная диаграмма процесса формирования Комитета МСЭ – A-0

Рисунок 1 может быть дополнен таблицей 1, содержащей характеристику каждого объекта, представленного в контекстной диаграмме [4].

Таблица 1

Характеристика объектов контекстной диаграммы процесса создания и обеспечения функционирования Комитета МСЭ

Объект	Название	Описание
Процесс	Формирование контрольного подразделения	Целью является создание и обеспечение функционирования Комитета для оказания помощи и консультативных услуг ГенеральномуСекретарю и руководству МСЭ
Вход	Информация о подобных подразделениях, Вклады Государств-членов, Данные о возможном финансировании из бюджета МСЭ	Перечень используемых документов или их разделов, подтверждающих результат анализа изученной информации и данных
Выход	Комитет по надзору (Комитет)	Результат работ РГ, Совета, ПК, Государств-Членов МСЭ и обработки информации, представленный в документах МСЭ
Управление	Указания руководства МСЭ, Рекомендации ООН	Документы,на которые ссылалось руководство при постановке задачи перед рабочими группами и членами МСЭ, а также документы, содержащие рекомендации рабочих групп ООН
Механизм	РГ, Совет, ПК и Государства-члены МСЭ	Форма реализации исполнителей: вклады, заседания

Контекстная диаграмма помогла ответить на такие вопросы, как: что потребовалось для реализации проекта, что получится на его выходе, кто был задействован и какие регулирующие документы были необходимы, но при этом не дала полного представления о процессе. Поэтому далее была проведена декомпозиция контекстной диаграммы, т.е. дано более детальное описание процесса(диаграмма первого уровня, см. рис. 2).

Проект по внедрению комитета по надзору в МСЭ, в соответствии с логикой нотации IDEF0, был разбит на пять подпроцессов (этапов), примерно равной степени детализации. Задачи, решаемые в ходе выполнения проекта, по времени их выполнения были как последовательными, так и параллельными [9].

После построения диаграммы декомпозиции первого уровня (рис. 2) для указанных на ней функций (A1, A2…A5) были построены отдельные диаграммы (диаграммы декомпозиции второго уровня).

Процесс декомпозиции (построения диаграмм) продолжается до тех пор, пока дальнейшая детализация функций не теряет смысла. Для каждой «атомарной» функции, описывающей элементарную операцию (т.е. функции, не имеющей диаграмму декомпозиции), составляется подробное описание, и, таким образом, процесс функционального моделирования заключается в постепенном выстраивании иерархии функций [1, 10].

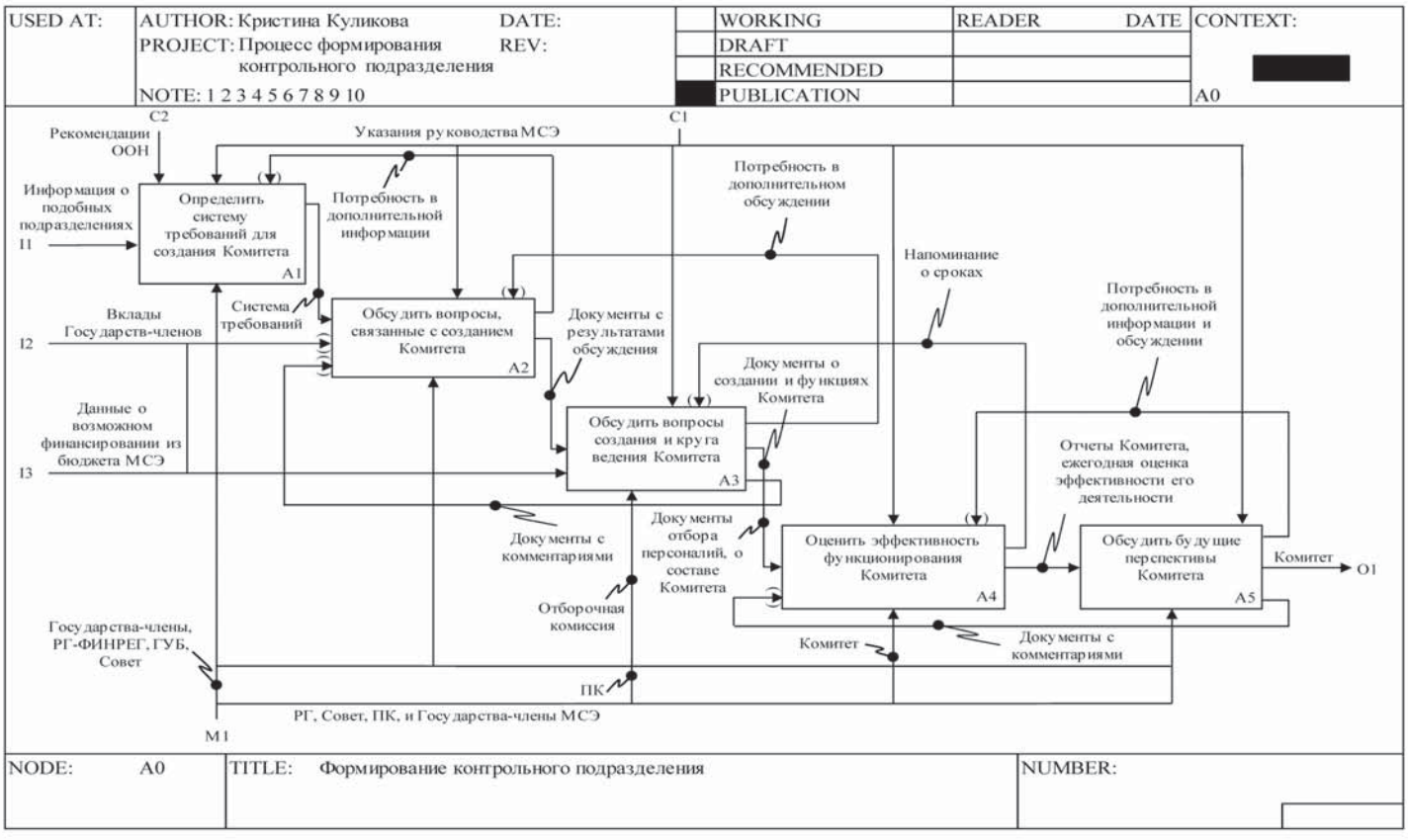

Рис. 2. Диаграмма первого уровня процесса создания и обеспечения функционирования Комитета МСЭ – A0

На четвертом подпроцессе (A4) должна быть проведена оценка эффективности деятельности НККУ. Авторами был разработан вклад, представленный от имени АС РФ на сессии Совета-12, содержащий подход к оценке эффективности деятельности НККУ в целом и к индивидуальной оценке членов Комитета, в частности, который члены Комитета взяли за основу для осуществления самооценки деятельности [5].

С учетом изложенного, остановимся более подробно на каждом из приведенных на рис. 2 подпроцессов. Первый подпроцесс (A1): определение системы требований для создания Комитета. Здесь возникает необходимость изучения опыта создания подобных Комитетов в системе ООН и определения системы требований для совершенствования функции контроля современного менеджмента МСЭ.

Второй подпроцесс (A2): обсуждение вопросов, связанных с созданием Комитета. Формирование Комитета обсуждалось на РГС ФЛР, сессиях Совета, на ПК-10 (Мексика), ПК-14. Процесс обсуждения может быть разбит на составные части посредством создания дочерней диаграммы следующего, более низкого уровня.

Третий подпроцесс (A3): решение вопроса о создании Комитета и его круге ведения. В результате работы Государств-членов, РГС ФЛР и Совета по проекту создания и обеспечения функционирования Комитета, в 2010 г. на ПК МСЭ была принята Резолюция 162 с решением о создании на экспериментальной основе сроком на четыре года комитета по надзору, получившего название Независимого консультативного комитета по управлению – НККУ (IMAC–Independent Management Advisory Committee) [8].

На пятом подпроцессе (A5) ПК должно быть принято решение о продолжении работы комитета или его реорганизации (изменение названия Комитета, его функций, количества членов и т.д.) или расформировании. Принятие решения требует от Совета (Генерального Секретаря) проведения оценки эффективности функционирования НККУ по выбранной в четвертом подпроцессе методике; ПК-14 пересмотрела Резолюцию 162, в которой НККУ создан на постоянной основе, уточнен его круг ведения, но чтобы это было сделано, была проделана большая работа, которая схематично представлена на рис. 3.

Выбранный подход дал возможность практически на каждую сессию Совета Союза и собрания РГС ФЛР представлять вклады от имени АС РФ, посвященные Комитету, разработанные, кроме всего прочего, на основе данных и материалов, полученных в ходе описываемого исследования, которые использовались и учитывались при принятии окончательных решений относительно вопросов по Комитету на ПК-14, о чем будет сказано ниже. За это время был разработан ряд документов, посвященный предложениям по названию контрольного органа, его составу, процедуре формирования и финансовому обеспечению [5].

Следует отметить, что построенная функциональная модель имеет общий характер и может быть использована в будущем как самим МСЭ при создании новых подразделений, так и другими межгосударственными организациями специальной компетенции, еще не создавшими подобные подразделения или желающие улучшить их работу.

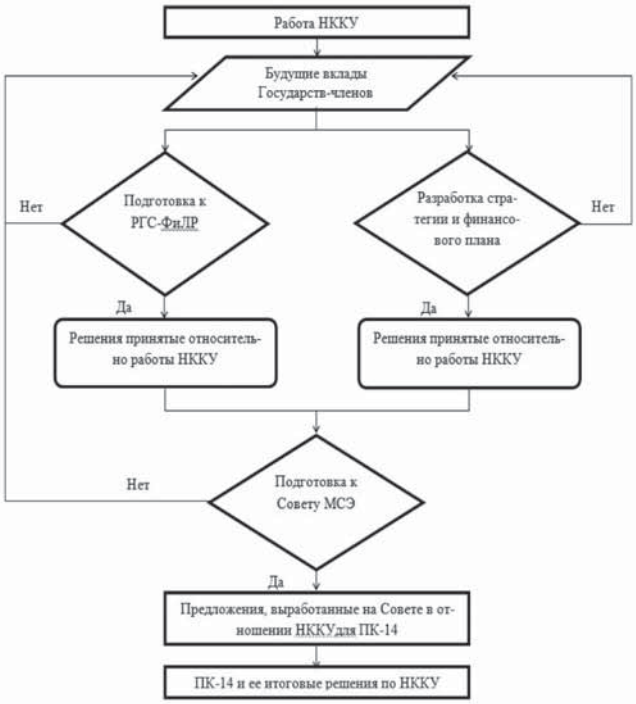

Рис. 3. Блок-схема процессов, которые будут проведены для принятия решения о продолжении работы НККУ или его реорганизации

Конечно – независимая экспертиза деятельности такой организации, как МСЭ, важный, но неединственный вопрос, который должен там решаться с целью выполнения стратегических целей и задач, поставленных перед мировым сообществом на следующие четыре года. И этих вопросов едва ли не больше, чем ответов на них и, возможно, аналогичный подход должен быть применен для изучения и совершенствования других процессов. Приведем некоторые примеры.

Решения ПК, которые отражаются в «Финальных актах ПК» (ФА), должны быть ратифицированы участниками и связаны с выполнением стратегического плана МСЭ на 2016-2019 гг., представленном в Резолюции 71. Один из парадоксов работы МСЭ заключается в том, что, если Государство-член не ратифицировало решения очередной ПК, оно может действовать на основе решений той ПК, ФА которой им были ратифицированы. Такой подход представляется нам крайне странным. Представьте, если бы в организации одни сотрудники жили по старому уставу, а другие – по-новому. Вот один пример того, к чему это может привести. На ПК-14 Канада заявила о резком снижении своих взносов, которое она не могла бы себе позволить на основе решений ПК-10. Но Канада не ратифицировала ФА ПК-10, в связи с чем бюджет МСЭ потерял значительные суммы.

Совет принимает свои резолюции и решения во исполнение решений и резолюций ПК. Если зайти на сайт МСЭ в раздел «Совет», можно увидеть, что у Совета имеются рабочие группы (РГС). В настоящее время это: РГС по финансовым и людским ресурсам, РГС по выполнению

решений ВВУИО; РГС по защите ребенка в он-лайновой среде; РГС по использованию шести официальных языков МСЭ и др. Группы могут исчерпывать свои полномочия, тогда принимается решение о прекращении их деятельности или наоборот, возникает потребность в новой группе. В любом случае решение принимается на ПК (снова процесс, который требует совершенствования).

РГС ФЛР – одна из наиболее старых групп, сравнительно недавно она была реструктурирована путем объединения двух групп: по финансовым и людским ресурсам. Четвертое собрание РГС ФЛР проходило в Женеве 04-06 февраля 2014 г. В заседании принимали участие вновь избранный Генеральный секретарь (ГС) МСЭ г-н Х. Зао, заместитель ГС М. Джонсон, директора бюро секторов (радио, стандартизации и развития), руководители финансового департамента и департамента по людским ресурсам, чиновники МСЭ других уровней, делегаты, практически, из всех стран, входящих в Совет. Хотя, надо сказать, что в работе РГС могут принимать участие представители любых стран, входящих в Союз, но они не голосуют. Собрание проходило после ПК-14 и имело большое значение с точки зрения осознания направлений и объемов работы по реализации стратегических решений и резолюций ПК-14 на ближайшие четыре года. Основная проблема, с которой столкнется МСЭ в ближайшее время, это нехватка ресурсов для финансирования деятельности, которые, в основном (на 80-85 %, в зависимости от инфляции, решений ООН и некоторых других обстоятельств) идут на оплату персонала (действующего и вышедшего на пенсию). Другая проблема – это давление значительной части членов МСЭ на его генеральный секретариат, нацеленное на то, чтобы совершенствовались процессы управления, исключалось дублирование задач и функций, повышалась производительность, выполнялись рекомендации аудиторов и НККУ(IMAC), нацеленные на экономию ресурсов. При этом такое давление подчас носит не только экономический характер.

Ход и результаты основных дискуссий нашли отражение в приводимом ниже кратком обзоре основных моментов работы группы, связанных с тематикой статьи. В частности, один из основных сегодня обсуждаемых вопросов: «Какова должна быть степень доступа к документам МСЭ?». При этом нет ни общего понимания, что такое документ МСЭ, ни других, не менее важных (безопасность, защита личности и т.п.). Конечно, здесь тоже должны быть «прописаны» соответствующие процессы.

Что касается других вопросов, то были рассмотрены возможные направления деятельности Совета МСЭ (и группы) для реализации решений и резолюций ПК-14 (Пусан, Южная Корея), имеющих отношение к управлению организаций, включая общее (административное) управление, стратегическое управление, финансовый менеджмент, управление человеческими ресурсами, бухгалтерский учет и аудит и т.п.

Основной рассматриваемый вопрос – формирование сбалансированного по доходам и расходам бюджета Союза на 2016-2017 гг. Предложенный Секретариатом проект бюджета сформирован с учетом необходимости выполнения задач стратегического плана (Резолюция 71, ПК-14), проекта финансового плана (Решение 5, ПК-14 с приложениями) и существования следующих условий и ограничений: резкого сокращения количества единиц взносов (-10,5 единиц); неизменной (с 2006 г.) величины цены единицы взносов 318 тыс. шв. франков (при возможном разбросе 315,0 – 330,0 тыс. шв. франков); потенциальной возможности изъятия средств с Резервного счета (фонда, РС) в размере 8,1 млн. шв. франков; перечня мер по экономии расходов, включая сокращение численности персонала и экономию «на языках». Размер двухлетнего бюджета все еще обсуждается (по состоянию на начало апреля 2015 г.). Если не рассматривать политические стороны вопроса о бюджетировании деятельности МСЭ, то основная сложность достижения баланса бюджета обусловлена резким снижением на ПК-14рядом стран своих классов взносов, что не было компенсировано незначительными повышениями классов взносов другими.

Серьезная дискуссия развернулась по поводу возможности изъятия средств с РС. Против такой возможности выступили, как и на ПК-14, делегации США и ряда других государств, мотивируя свою позицию недальновидностью такого использования РС с точки зрения стратегических перспектив в условиях снижения доходов МСЭ. В принципе, с экономической точки зрения, против этого трудно возражать. Вместе с тем, фактически, МСЭ ежегодно расходует меньше, чем получает доходов, поэтому РС пополняется. Кроме того, его величина может опускаться до уровня 6% от ежегодных расходов. Сегодня этот уровень существенно выше. Названные и другие делегаты считают, что больше внимания следует уделить поиску и использованию резервов экономии средств МСЭ. Рассмотрение преимуществ и недостатков от использования доходов, генерируемых от предоставления Международных ресурсов нумерации (International Numbering Resources (INR)) для целей балансирования доходов и расходов, не позволило пока использовать этот источник доходов для пополнения бюджета, так как многие западные страны объясняют свое нежелание увеличивать цену за эти номера защитой интересов операторов и потребителей услуг электросвязи. К слову сказать, на ПК-14 не было достигнуто договоренности относительно рабочего определения термина ИКТ, хотя была представлена отдельная резолюция по этому поводу. Вопрос остался открытым, что дает нам право с чистой совестью употреблять слово «электросвязь».

Значительную дискуссию вызвали вопросы формирования, устойчивых, без преференций, обоснованных и прозрачных политики и процессов участия Членов секторов, Академических организаций и Ассоциированных членов, в деятельности рабочих органов МСЭ. Общий взгляд на проблему не был сформирован, обсуждение будет продолжено, Совету МСЭ в мае 2015 г. должен быть представлен более четкий и обоснованный документ.

Заслушаны документы, отражающие работу МСЭ над рекомендациями по улучшению различных предметных областей менеджмента организации, как реакция на отчеты Внешнего аудитора и IMAC. Отмечено, что руководство

МСЭ делает заметные шаги в направлении создания системы риск-менеджмента, улучшает работу с региональными представительствами (отчетность) и т.п. В настоящее время в связи с истечением полномочий IMAC в кратчайшие сроки (до 15 марта) сформирована Конкурсная комиссия (Selection panel), в состав которой вошли по одному представителю от каждого региона (всего 6 человек). Одновременно было организовано доведение информации об открытии конкурса до всех Администраций связи (Государств-членов), идет сбор анкет претендентов, на основе документов будет проведен (до середины апреля) первоначальный отбор кандидатов и будут отсеяны очевидно неподходящие претенденты; с оставшимися Комиссия должна провести собеседование в режиме электронной презентации и в конце апреля 2015 г. – предложить Совету список кандидатов в IMAC (два человека основного состава и пять – запасных) с соблюдением гендерного баланса и регионального представительства при необходимости соответствия квалификационным требованиям к кандидатам.

В соответствии с повесткой дня были рассмотрены многие важные резолюции и решения ПК-14 на предмет соответствия полномочиям и сфере ответственности РГС ФЛР: Решение 5. Доходы и расходы Союза на период 2016-2019 гг.; Решение 12. Свободный он-лайновый доступ к публикациям МСЭ; Решение 13. Механизм мониторинга программ и проектов МСЭ; Резолюция 71. Стратегический план Союза на 2016-2019 гг.; Резолюция 72. Взаимосвязь стратегического, финансового и операционного планирования в МСЭ; Резолюция 151. Осуществление в МСЭ менеджмента, ориентированного на результаты; Резолюция 152. Улучшение управления и систематический контроль возмещения затрат со стороны Членов секторов и Ассоциированных Членов; Резолюция 154.

Использование шести официальных языков Союза на равноправной основе; Резолюция 158. Финансовые вопросы для рассмотрения Советом; Резолюция 162. Независимый консультативный комитет по управлению (Independent management advisory committee); Резолюция 167. Усиление возможностей МСЭ в части проведения электронных собраний и способов улучшить работу Союза; Резолюция 169.

Допуск академических организаций, университетов и др. к участию в работе трех секторов Союза; Резолюция 170. Допуск Членов секторов из развивающихся стран к работе в секторе радио и секторе стандартизации; Резолюция 48. Управление и развитие людских ресурсов; Резолюция 187. Обзор существующей методологии и развитие будущего видения участия членов секторов, ассоциированных членов, ассоциаций и академических кругов в деятельности МСЭ; Резолюция 192. Участие МСЭ в меморандумах о взаимопонимании, имеющих финансовые и/или стратегические последствия; Рекомендация 3 COM 5 (документ PP14/161 (Rev.1)) Политика доступа к документам в МСЭ.

Этот перечень наглядно демонстрирует широту и разнообразие вопросов, которые предстоит решать в рамках сферы ответственности только одной группы, рекомендации которой могут позволить Совету МСЭ принимать свои решения в более сжатые сроки и на более высоком уровне компетентности, чем это можно было сделать без такой помощи. Многие решения могут быть найдены на пути использования процессного подхода.

Для тех, кому эти вопросы показались интересными, отметим, что Финальные акты ПК-14, где приведены все резолюции и решения Конференции, доступны на сайте МСЭ на русском и английском языках.

Литература

1. ГОСТ Р 50.1.028-2001- Информационные технологии поддержки жизненного цикла продукции. Методология функционального моделирования. Официальные рекомендации по применению стандартов IDEF для функционального моделирования. – Введ. 2001-07-02. Использование и издательское оформление. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2000. – 75 с.

2. *Зайцев Е.* Декомпозиция процесса разработки корпоративного сайта по методологии IDEF0 [Электронный ресурс]. – 2011. – Режим доступа:. http://habrahabr.ru/post/122279/ (дата обращения 02.04.15).

3. *Куликова К.Н.* Разработка механизма обоснования необходимости совершенствования функции контроля в НКО / К.Н.Куликова //Экономика и предпринимательство. – М., 2013. – №12-4. – С. 713-719.

4. Лабораторная работа №6 «Системный анализ предметной области» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://ftp.csdep.mephi.ru/kiselev/DB%202014/%D0%9C%D0%BE%D0%B4%D1%83%D0%BB%D1%8C%20%E2%84%967/Lab%206.htm (дата обращения 02.04.15).

5. Публикации: Полномочных конференций МСЭ, Советов Союза, Рабочих групп МСЭ, Тексты основных документов Союза [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.itu.int/ru/Pages/default.aspx (дата обращения 02.04.15).

6. *Резникова Н.П., Артемьева Г.С., Липатова К.Н.* К вопросу о создании независимого консультативного комитета экспертов по аудиту в международном союзе электросвязи // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2011. – №12. – С. 75-77.

7. *Резникова Н.П., Артемьева Г.С., Куликова К.Н.* Структуризация проблемы совершенствования контрольной функции в Международном Союзе Электросвязи // Российский внешнеэкономический вестник. – М., 2012. – № 2. – С. 39-47.

8. Резолюция 162. Независимый консультативный комитет по управлению: документ МСЭ / Полномочная конференция МСЭ – Гвадалахара, 2010. – 14 с.

9. Сервер дальневосточного государственного университета путей сообщения. Лекция №6 «Разработка функциональной модели» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://edu.dvgups.ru/METDOC/GDTRAN/YAT/ITIS/PROEK_INF_SIS/METOD/UMK_DO/frame/UMK_DO/M3/L6.htm(дата обращения 02.04.15).

10. *Фастовский Э.Г.* Лабораторные работы по курсу «Технология программирования» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://khpi-iip.mipk.kharkiv.edu/library/technpgm/index.html (дата обращения 02.04.15).

IMPROVEMENT OF CONTROL FUNCTION IN THE INTERSTATE SPECIALIZED ORGANIZATION FOR THE TRANSITION TO RESULT-ORIENTED MANAGEMENT

Reznikova N.P., *Moscow, Russia,* ***rnp@mtuci2.ru***
Artemieva G.S., *Moscow, Russia,* ***artemieva-g-s@yandex.ru***
Kulikova K.N., *Moscow, Russia,* ***homaichek@yandex.ru***

Abstract
On the basis of the fact that the ITU Plenipotentiary Conference, which took place in 2014 (South Korea), set as an object an implementation of the important strategic objects for the development of telecommunications in the world, it is need to change its culture, to improve the results-oriented management (Resolution 151, PK-14), the improvement of risk management in this interstate organization of special competence and more else. One of the mechanisms to improve the management, the ITU Member States consider in the strengthening of the internal audit function by forming a control subdivision, which is relatively new, difficult enough and effortful process that requires from organization an extra time, financial and human resources, which is quite difficult to provide in a declining ITU revenues obtained from voluntary contributions of its members. To describe the process of establishing and providing functioning the control subdivision the possibilities of functional modeling (methodology IDEF0) are used in the Union. The context diagram of the process of the ITU Committee formation, as well as results of its decomposition diagrams of the second level for a detailed description of the sequence of execution of the title process are presented. The subject area of issues and problems was characterized that have been discussed at the fourth meeting of the ITU Council Working Group on Financial and Human Resources (CSG FLR) to prepare for the session of the ITU Council (May, 2015), and which have a great importance in terms of understanding the directions and volumes work on the implementation of the decisions and resolutions of the PC-14 for the next four years. Main issues are: the difficulties of achieving a balanced income and expenditure ITU budget for the 2016-2017 and searching the ways to improve the effectiveness of expense of the limited resources of the organization. Review and results of the main discussions can allow readers to look at some of the discussed issues from a different than authors' point of view and, therefore, to give a new impulse for searching the answers for the questions that remain unresolved.

Keywords: *functional modeling, IDEF0 standard, a control subdivision, context diagram, decomposition, an intergovernmental organization of special competence, the International Telecommunication Union (ITU).*

References

1. GOSTR 50.1.028-2001. Continuous acquisition and life-cycle support. Methodology of functional modeling. Official recommendations for the use of standards for functional modeling IDEF. IPK Izdatelstvo standartov. Moscow. 75 p. (*in Russian*).
2. *Zaicev E.* Decomposition process of developing a corporate site on the methodology IDEF0. availableat:http://habrahabr.ru/post/122279. (*in Russian*).
3. *Kulikova K.N.* (2013), Development of mechanism to justify need for improvement of the control function in nonprofits. Journal of Economy and entrepreneurship. No. 12-4, pp. 713-719. (*in Russian*).
4. System analysis of the subject area. availableat:http://ftp.csdep.mephi.ru/kiselev/ DB%202014/%D0%9C%D0%BE%D0%B4%D1%83%D0%BB%D1%8C%20%E2%84%967/Lab%206.htm. (*in Russian*).
5. ITU Publications: ITU Plenipotentiary Conferences, ITU Council, Basic Texts of the Union. availableat:http://www.itu.int/ru/Pages/default.aspx. (*in Russian*).
6. *Reznikova N.P., Artemyeva G.S., Lipatova K.N.* (2011). Towards the creation of an independent advisory committee of experts in auditing in the International Telecommunication Union. T-Comm. No. 12, pp. 75-77.
7. *Reznikova N.P., Artemiyeva G.S., Kulikova K.N.* (2012). Structurization of the problem of control function perfection in the International union of telecommunication. Russian foreign economic journal. No. 2, pp. 39-47.
8. Resolution 162 (Rev. BUSAN, 2014). Independent management advisory committee. Document ITU / ITU Plenipotentiary Conference 2010 (PP-10), Guadalajara (Mexico), 14 p.
9. Development of functional models. availableat:http://edu.dvgups.ru/METDOC/GDTRAN/YAT/ITIS/PROEK_INF_SIS/METOD/UMK_DO/frame/UMK_DO/M3/L6.htm. (*in Russian*).
10. *Fastovskey E.G.* Laboratory work on the course "Programming Technology". availableat:http://khpi-iip.mipk.kharkiv.edu/library/tech-npgm/index.html. (*in Russian*).

Information about authors:
Reznikova N.P., Head of Management department, Moscow Technical University of Communications and Informatics, Moscow, Russia
Artemieva G.S., Professor of Management department, Moscow Technical University of Communications and Informatics, Moscow, Russia
Kulikova K.N., Lecturer of Management department, Moscow Technical University of Communications and Informatics, Moscow, Russia

For citation:
Reznikova N.P., Artemieva G.S., Kulikova K.N. Improvement of control function in the interstate specialized organization for the transition to result-oriented management. T-Comm. 2015. Vol 9. No.5, pp. 79-85. (*in Russian*).

THE PARADOXES OF MODERN TELECOMMUNICATION NETWORKS

Ievlev Oleg Pavlovich,
Vice-rector for international activity of Moscow Technical University of Communications and Informatics, Ph. D., associate professor, Moscow, Russia,
ievlev@mtuci.ru

Keywords: *broadband service provider, Internet, telecommunication network business model.*

From the very beginning the Internet and used technologies have a permanent impact on the development of telecommunications. Despite the tremendous changes in the market image of traditional operators, introduction of new services and radical transformation of value creation chains and significant investments in existing and new infrastructure services (such as IMS), most incumbent operators still rely on business processes and information systems of 10 – and even 20 years ago. Over time, operators may turn from the dominant service provider into a transparent "bit pipe". Rich VAS services market is no longer under the control of operators; existing and planned infrastructure services become obsolete and lose competitiveness in relation to new and current Internet technologies; market share of access equipment to telecommunications services and the associated revenue is rapidly declining. Such developments have devastating consequences in the long term for traditional telecommunications services market. The objective necessity of taking into account changes in the Internet ecosystem, as well as integration of ISP and content providers' solutions by traditional Telecom operators raised a number of paradoxes, which in turn, lead to a paradigm shift in models of network construction and business models of operators. The article contains analysis of paradoxical situations taking place in the world of telecommunications, due to the influence of changes in the Internet ecosystem on the activities of the traditional communication networks operators and leading to the paradigms' shift in principles of organization of telecommunication networks and business models of operators.

Для цитирования:
Иевлев О.П. Парадоксы современных телекоммуникационных сетей // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2015. – Том 9. – №5. – С. 86-90.

For citation:
Ievlev O.P. The paradoxes of modern telecommunication networks. T-Comm. 2015. Vol 9. No.5, pp. 86-90. (*in Russian*).

The first paradox of the communications networks known from publications is "The paradox of the best network", which was developed in the works of David Eisenberg and other authors, in particular [1, 2], at the end of the last century. It says: "The best network is the hardest one to make money running".

At this time two opposite vectors of development of communication networks and business strategies coexisted, which divided service providers, equipment vendors, investors and end-users into two fundamental camps. On the one hand the construction of the network is based on the concept of Intelligent networks (IN), which were the evolutionary continuation of the centralized principle of construction of traditional telephone networks, on the other hand -the development of computer networks based on attributes of the Internet – the principle of "transparency" or end-to-end principle [3]) and TCP/IP stack protocols. On the one hand -the concentration of the control and processing logic and services in the network core, on the other side- distribution of intelligence on the periphery, in the end-user terminals, home routers, hubs.

The paradox arises from the meaning of "the best network", which the authors insert, namely network, which "transmits the bits in the largest volumes at the highest speed", and which is open to innovation and implementation of new services. We are talking about the Internet, which is contrasted with the traditional networks, optimized for the specific type of data and services, particularly telephony. These networks, according to the authors, are closed and completely controlled by the operators (both in terms of services provided, information about users and generation of income), transfer relatively small flows of information. The introduction of new services in such a network, although standardized, but pseudo openly, as determined by the interests of network operators and vendors.

In the Internet, thanks to the principle of "transparency", the main source of income is concentrated at the periphery of the network – in applications running at terminal equipment of users. The core network (the Internet as a transit network and as a network of networks), is built on typical generic non intelligent elements, performs simple routine functions to support transparent user connections to network resources and interconnections. This is provided by the core network service or "connectivity" [4]), which is ubiquitous, affordable within network and which has passed the commoditization (conversion of earlier unique properties of goods and services in the ordinary because of the saturation of the market [5]). It costs nothing, and is implied as value component of overlay services. So, using this service in "the best network" is the hardest way to make money.

The paradox of "the best network" reflects tectonic shifts that shook the very foundations of the industry: channel switching technology began to give way to packet switching, data traffic has sought to exceed voice traffic, the characteristic of the price – performance of computer technology has been radically improving, and users began to take control of the services. Since the publication of the article by David Eisenberg it has been more than 15 years. It is a long time, especially in the field of computer and telecommunications technologies. In connection with this some questions are raising. Whether there is a critical contrast which existed between traditional networks and the Internet (Intelligent network is "dumb" terminal and the "stupid" network – intelligent terminal) now or perhaps this is a false dichotomy? Whether the Internet continues to be "unintelligent" and "stupid network [6]" and whether it is seeking to become intelligent? Whether there is converging of earlier opposite vectors of networking?

It seems logical to have intelligent terminals interworking within smart network, as for example, within a heterogeneous network, including Wi-Fi and 4G, with possibility of seamless handover between them. The user and operator will both have benefits. Or, for example, if we take the service of sharing files in a peer to peer network such an innovative approach, as ALTO [7] (traffic optimization application level) can help in selecting the most effective location hosting content instead of removing the copy of the file from geographically remote host

If before, the user addressed to the Internet non-intelligent nodes (browser) for non-intelligent data (HTML) located in non-intelligent network (Web), today the situation has been changed. Now the data becomes "smarter" (e.g., XML/ XHTML/ Javascript/ Java/ ASP) and informs the web browser how it should be displayed (text editor, multimedia player, applications GUI).

Obviously, the data has to be smarter. It should convey the information for the network node, how to be better displayed (to present to the user), but also should contain data for analysis and further actions. The data contains more information about itself and the user's preferences. A vivid example is the development in the area of Semantic Web [8].

Still there are many non-intelligent nodes and a number of "smart" nodes in network, such as newspapers servers, social networks, search engines, VoIP servers. If we assume that intelligence (functionality) of a single node is determined by the "height" of the OSI model layers on which it is able to operate, the sufficiently intelligent nodes (that implement the protocols of levels up to seventh) could be found in the core network. These nodes perform, for example, functions of IP routing, QoS support, firewall function, additional functions such as Deep Packet Inspection (DPI) [9]. The last function, unlike firewalls, analyzes not only packet headers but also the full content of the traffic on the OSI model layers from the second and higher that allows detection and blocking of malicious apps, viruses, filtering information that does not meet the specified criteria.

Recently gaining popularity the software – defined networks [10] (SDN) is a new approach of construction and operation of computer networks, allowing significantly improving the efficiency of network equipment and reducing operating costs. In SDN, the levels of network control and data transmission are separated by transferring control functions of the nodes (routers and switches) into applications running on a separate server (the controller) with installed

operating system. The result is a solution with a logically centralized network management implemented in the center of network!

What is happening now in the camp of "the enemy"?

Today solutions of traditional network operators are Next Generation Networks based on packet switching and the concept of IMS. Though still, all processes in the network remain under the control of the operator, the principle of intelligence distribution is rather decentralized than centralized. Main intelligence is still concentrated in the core network (IMS Core), which manages the establishment of connections and sessions, and also implements functions of maintenance and operation of network. However, at the edges of the network the potential is building up through the use of powerful, intelligent user terminals (smart phones, SIP phones, softphones, tablets, computers, etc.), access modules, gateways, controllers, etc.

In IMS, there is a set of application servers that can reside within or outside network- this is the decision of network operator. One of the main objectives of the IMS is the desire to make access to services at the edges of network open to third-party service providers. Thus, new services can be introduced easily and quickly. For example, successful project i-Mode [11] implemented in Japan by operator DoCoMo.

One of the organizations involved in the construction of infrastructure applications for IMS is the Parlay Group. The group includes software vendors, such as BEA and IBM, companies – vendors of solutions, such as Ericsson, Alcatel – Lucent and operators, such as BT, Sprint. Standardized APIs allow implementation of universal application, so that applications developed "under" one operator can be implemented in networks of other operators without any changes. Especially interesting is the Protocol Parlay X which offers a base for quickly creation of Web services without deep knowledge of network procedures' functioning.

The implementation of Web services requires a standard way of interacting with application servers using the Web as a transport data interface in the form of XML. This is the basis for the so-called Web 2.0 APIs that are published for example by Google. Software vendors (Oracle, IBM, BEA) use this approach to implement large – scale ICT applications.

Thus, there is a tendency to blur the intelligence of the network, to the convergence of previously opposing tendencies of construction and operation of networks, as from the point of view of architecture, as from the point of view of spectrum and ways of services delivering.

The above trends lead to a paradigm shift of "paradox of the best network". To paraphrase the paradox we can say that now "the worst network" is the hardest one to make money running.

Currently leading Telecom operators of the world are facing to the problem of reducing growth in the field of fixed and mobile communications, which is tried to be compensated by intensive development of broadband access to the Internet. The revenue from the provision of broadband services is a significant part of large world convergent operators' budget. In particular, Rostelecom which management believes broadband access is the company's profiling business [12].

However, despite high growth rates in the number new users and support of the state the following paradoxical situation raises: if even the operators' revenues from sailed broadband services are increasing, but not in proportion to the growth of subscriber base [13], and according to some operators, in particular, national operator of Italy, Telecom Italia, even significantly reducing [15].

The factors that cause this paradox are the following.

Last years the broadband access technologies have become a major trend in developed countries. Many countries are coming up to complete coverage by broadband, e.g. France, Canada, Romania.

In addition, capacity-building of broadband access occurs in parallel with the introduction of advanced technologies that complement the traditional solution of operator. These include "Mesh Networking" [17] (full-mesh topology network based on IEEE 802.11s), "Ad – hoc Networks" [18] (wireless dynamic self-organizing network), "P2P Networks" [19] (peer-to-peer peer-to-peer overlay network), "Opportunistic Networks" [20].

All of these technologies are able to adapt, optimize and implement the sharing of network resources between users, and in addition they can be applied for a sufficiently large number of users (for example, in case of P2P networks – even millions end users). An example is the FON project [21]- the world's largest Wi-Fi community. Other examples are hotels, bars, shops, which provide free communication as competitive tools to attract more customers to their goods and services. There are cases of simple and free exchange of connectivity for users to their attention to the services and solutions proposed by operators. For example, a new Finnish mobile virtual operator Blyk, which provides its subscribers with a free link in exchange for agreeing to receive advertisements on mobile phones [22] or the operator "Company "XXI century – TV", which offers developmental network of free GSM payphones in Moscow region [23]. The largest operator of USA, Virgin Mobile, basing on agreement with the largest national advertisers, has launched a program [24], in which subscribers receive advertisements from the operator in exchange of free minutes.

As a result, the phenomenon of commoditization mentioned above for "the best network" emerges. Decrease in the value of broadband access occurs. The increasing availability of communications (e.g. home networks), low cost of network equipment and terminal devices, permanent reduction of connections price in mobile networks will make communications always available, cheap and always with the desired bandwidth. Within network the "pervasive" applications based on principle of "Always Best Connected" [25] (ABC) will dominate; they are available both in sense of bandwidth and prices, accessed as from user terminals as sensors.

This in turn leads to important paradox of income: the more the network is using, the less it is bringing income. Today users can choose from numerous packages of service offerings. Many providers offer packages of services in the

form of "All – you – can – eat". Any investment in network will provide a low ROI because users do not feel the visible effect of any service improvements. An example is the constant increase in bandwidth offered to users on xDSL access. Any subsequent increase of bandwidth may require huge investments into the network to increase its capabilities (i.e., the transition from xDSL to FTTH). However, end users do not intend to pay in proportion to any increase in bandwidth and the price of transmitted megabits progressively continues to fall, leaving ARPU at the same level or even lower. Many operators are forced to invest in new (and expensive) access network to provide ultra broadband (replacement of copper on optics for fixed networks or the transition to LTE for wireless access), but the "Killer Application" cannot be found to justify investments.

The second factor of the paradox is the policy implied by traditional operators. Introducing widespread broadband Internet access, constantly increasing speed of access, service providers are creating new opportunities for other players – their competitors at adjacent markets of pay-TV, telephony and video applications, Internet service providers, including Over- the – Top (OTT) providers. The number and influence of these players which use as legitimate (copyrighted) as public content is increasing. Among them it should be mentioned as domestic providers, such as Now.ru, Omlet, Zoomby, Cristal as foreign TV – Netflix, Amazon.com, Inc., Apple Inc. Blockbuster , Inc., Comcast (football fancast), Disney, BBC I-Player), Google/YouTube, Microsoft Corporation, Netflix, Inc. (Online Video Service), Sony (OTT Service), Comcast, Skype. According to a study by Ovum by the year 2020 OTT only VoIP providers will consume 7% of total revenue of the global Telecom [26]. Services providers bring a great traffic on operators' network and this traffic is constantly growing. For the operator, this situation looks paradoxical – the own network resources are using by another provider for free, and even bring him income! The situation is aggravated by necessity of constant escalation of network bandwidth to meet demand of subscribers and promised quality of service.

Due to ongoing tactics focused on providing user-specific content and offering free of charge services the outflow of subscribers takes place. Examples of these free services range from voice service and instant messaging to free access to the networks. This is another paradox: charged services in one provider's network are offered free in another. Service providers respond immediately to the needs of the user, forming its profile through a variety of campaigns, surveys and advertising. Their business model aims to attraction of users by offering interesting and cheap functions and services, and simultaneously on collection of information about users and their preferences. Moreover, users who are not paying for services, impose fewer demands on functionality and quality of provision of the service, and even help the provider to customize and improve the service through feedback.

As a consequence, there is a paradox of standardization: service providers use the standards in different ways. While traditional service providers use standards to guarantee the quality of provided services, other service providers, including OTT, use standards as a mean of imposition (pushing) to market their technical solutions and services. Since each service provider can potentially cover the entire market (even a very small service provider can provide universal services via Internet to end users all around the world), he is not worried about the standardization of the services or their compatibility with other providers. Instead, they imply innovative technology to differentiate themselves from other providers. They can impose their "proprietary" standards and they do not need to spend time, human and other resources for standardization and compatibility testing. This makes possible the implementation of the strategy "winner takes it all" (taking into account the dominant position for example of Microsoft on the operating system market or Google on the market search engines and advertising). This approach is characterized by using of beta release [27]- product that is not the final version; a public testing is done at the sole risk of the user, and the service provider takes no liability for possible damage.

Thus, the operator becomes involved in a new chain of services' delivery where even regardless of his wish; he becomes only a "transparent" link, providing access to resources of external service provider.

Finally, the third factor of the "paradox of income" is determined by the adequacy of pricing models [28] applied by the operators to the existing demand and achieved ARPU of users.

Until recently, the dominant pricing model of the leading global operators (e.g. Telecom Italia, AT&T) has been the Flat Rate [29], aimed at maximizing the use of broadband access. However, the implementation of this model has brought to the fore the technical and technological problems of bandwidth readiness of existing fixed and mobile networks and the adequacy of income to the investments made by operator. With increasing saturation of broadband access, many operators have switched to a model based on the actual traffic consumption and the imposition of restrictions on the volume and speed of traffic/ But this approach was not welcomed by a large group of users and led to their outflow.

Then the next model of pricing appeared. It was based on consumer value of services (Value – based pricing" [29]) . Special attention is paid to individual needs and requests of end users; differentiation of proposals is carried out by price, number and content of services.

Most recently, to enhance customer loyalty and as a reaction to the overflow of revenues to OTT, the proposal of several major operators (Vodafone, Verizon) contains a pricing model which is based on free telephony. Thus, traditional basic service of operator for over one hundred years which brought him a basic income becomes a free appendage offer to other services.

Mentioned above paradoxes lead to such a situation in the world of Telecom, in which the core business (voice), is although prevalent (80% of total income for most operators), but constantly and, perhaps, is irrevocably declining. However, this reduction is so slow that the operators still have time to reflect and make difficult decision of how and when to change the traditional business model to other new ones (that may be will cause a new series of paradoxes?).

References

1. *David S. Isenberg.* The Rise of the Stupid Network. Computer Telephony, August 1997, pp. 16-26.
2. *David S. Isenberg.* The end of the middle. IEEE Spectrum, January 2003, pp. 277-279.
3. *Saltzer, J. H., D. P. Reed, and D. D. Clark.* End-to-End Arguments in System Design. Proceedings of the Second International Conference on Distributed Computing Systems. Paris, France. April 8-10, 1981. IEEE Computer Society, pp. 509-512.
4. Glossary on Information Society. Institute for the Development of Information Society, 1998- 2001. (*in Russian*).
5. *Rep'ev A.* Ten differences between the new economy. Boss, No.9, 2002, pp. 13-15. (*in Russian*).
6. *Golyshko A.N., Leskova N.A.* Telecommunication networks: the eternal dynamics. Part II. Seti i sistemy svyazi. 2000. No.6. (*in Russian*).
7. *Seedorf J., Burger E.* Application-Layer Traffic Optimization (ALTO) Problem Statement. IETF RFC 5963. October 2009.
8. *Luciano Floridi.* Web 2.0 vs. the Semantic Web: A Philosophical Assessment. Episteme. 2009. No. 1, pp. 25-37.
9. *Rally C., Scott B.* Deep Packet Inspection: The end of the Internet as we know it. Free Press. March 2009, pp. 1-18.
10. Software Defined Networking: The new norm for networks. ONF White Paper. April 2012, pp. 1-12.
11. NTT Docomo, Inc. Annual Report 2007. June 12, 2008.
12. Site Rostelecom: Presentation for investors. June 2015.
13. *Rachenko I.* Fixed potential MTS. Investkafe. Independent analytical agency. 21.06.2012. (*in Russian*).
14. Site of the Mobile Telesystems company. Presentation: The financial results of MTS Group in the first quarter 2015. (*in Russian*).
15. *Minerva R., Bell S.* Boundary blurring between telecom and the Internet. Connect World. 2010. No.2, pp. 18-19.
16. *Arutyunov S.* Broadband is sweeping the planet. Commerce and Industry News. 2012. No. 4. (*in Russian*).
17. *Huang J.; Palomar D.P., Mandayam N., Walrand J., Wicker S.B., Basar T.* Game Theory in Communication Systems. IEEE Journal on Selected Areas in Communications 2008. V.26. No.27, pp.1193-1204.
18. *Gupta P. and Kumar P.R.* Capacity of wireless networks. IEEE Transactions on Information Theory. March 2000, Volume 46, Issue 2, pp. 366-404.
19. *Rudiger Schollmeier.* A Definition of Peer-to-Peer Networking for the Classification of Peer-to-Peer Architectures and Applications, Proceedings of the First International Conference on Peer-to-Peer Computing, IEEE (2002).
20. *Ling-jyh Chen, Che-liang Chiou, Yi-chao Chen.* An Evaluation of Routing Reliability in Non-collaborative Opportunistic Networks. Conference: Advanced Information Networking and Applications – AINA, 2009, pp. 50-57.
21. Fon announces next generation Fonera Simpl with EAP optimized for mobile devices. Press release. Fon. Business Wire. 26 February 2012.
22. Analysis: Blyk hitting right notes with ad-funded MVNO, but faces challenges. TechDigest. September 24, 2007.
23. Sheremetyevo and XXI Century – launched a People's TV phone. Press release Public Relations Center of the Sheremetyevo International Airport. October 24, 2013. (*in Russian*).
24. Site Virgin Mobile.
25. *Gustafsson E., Jonsson A.* Always Best Connected. IEEE Wireless Commun., 2003. Vol. 10, issue 1, pp. 49-55.
26. *Green G.* OTT VoIP to cost telcos $479 billion to 2020. Ovum Report, July 30 2012.
27. *Myers, Glenford J.* The Art of Software Testing. John Wiley and Sons. 1979, pp. 145-146.
28. *Ievlev O.P.* Evolution of the pricing models of broadband Internet access. T-Comm, 2013. No.6, pp. 14-19. (*in Russian*).
29. *Nicosia M., Kleman R.* Rethinking Flat Rate Pricing for Broadband. Cisco Internet Business Solutions Group White Paper. July 2012.
30. *Albanesius Ch.* Time Warner to Test Usage-Based System. PC Magazine, 2008, January 17.

ПАРАДОКСЫ СОВРЕМЕННЫХ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЕЙ

Иевлев Олег Павлович, *проректор МТУСИ по международным связям, к.т.н., доцент,* ***ievlev@mtuci.ru***

Начиная с момента своего возникновения, Интернет и используемые в ней технологии оказывают постоянное влияние на развитие телекоммуникаций. Несмотря на колоссальные изменения рыночного облика операторов традиционных сетей связи, внедрение новых услуг и коренную трансформацию цепочек формирования стоимости, значительные инвестиции в существующие и новые инфраструктуры предоставления услуг (таких как IMS), большинство традиционных операторов связи по-прежнему опираются на бизнес-процессы и информационные системы 10- и даже 20-летней давности. С течением времени, операторы могут превратиться из доминирующего поставщика услуг в прозрачную "битовую трубу". Богатый рынок услуг VAS больше не находится под контролем операторов; существующие и планируемые инфраструктуры услуг устаревают и теряют конкурентоспособность по отношению к новым и актуальным технологиям Интернет; доля рынка оборудования доступа к телекоммуникационным услугам и соответствующий доход стремительно сокращается. Такой ход событий имеет разрушительные последствия в долгосрочной перспективе для традиционного рынка телекоммуникационных услуг. Объективная необходимость учета изменений в экосистеме Интернет, а также интеграции решений поставщиков услуг Интернет и поставщиков контента традиционными операторами связи вызывает ряд парадоксов, которые в свою очередь, приводят к смене парадигмы моделей построения сетей связи и бизнес-моделей операторов. Проводится анализ парадоксальных ситуаций, происходящих в мире инфокоммуникаций, вызванных влиянием изменений в экосистеме Интернет на деятельность операторов традиционных сетей связи и приводящих к смене парадигм принципов организации телекоммуникационных сетей и бизнес- моделей операторов.

Ключевые слова: *широкополосный доступ, оператор связи, Интернет, телекоммуникационная сеть, бизнес- модель.*

MODELS OF INCOMING TRAFFIC IN PACKET NETWORKS

Levakov Andrey Kimovich,
Ph. D., Director of Maintenance Telecommunication Networks of Macroregional Branch "Center" of OJSC "Rostelecom", Moscow, Russia,
levakov1966@list.ru

Sokolov Andrey Nickolaevich,
Ph. D., Senior Researcher of R&D center "SevenTest", Moscow, Russia,
asokolov@seventest.ru

Sokolov Nikolay Aleksandrovich,
D. Sc., Chief Researcher of Research Institute "LOZNIIS", Moscow, Russia,
sokolov@niits.ru

Keywords: *incoming traffic, teletraffic model, distribution, mean delay, coefficient of variation.*

A significant portion of the investigations related to the incoming traffic in packet networks is based on models with so-called heavy-tails. This article focuses on models that can be called "without tails". This name may be used due to the fact that we consider the distribution of incoming traffic defined on a finite time interval. Models with such distributions describe the incoming traffic in packet net-works more correctly. Mean delay and coefficient of variation for proposed models are larger than the same values in the models with heavy-tails.

Development of the telephone networks required elaboration of teletraffic theory [1]. One of the main problems of this theory is investigation of the charac-teristics of incoming traffic. For analogue and digital telephone network, these characteristics have been well studied [2]. Obtained results are not always suitable for research of packet networks. New methods of investigation were based on stochastic fractals [3]. In particular, the heavy-tailed distributions [4] are used to describe the incoming traffic. Such approach yielded a number of useful results. On the other hand, some teletraffic models may be analyzed by means of the distributions that are defined on interval of finite length. These distributions shall be denoted below as $A_{fl}(t)$. Subscript "*fl*" is the first letters in the words "finite length". Such distributions do not have tails. Present article is devoted to the study of teletraffic models using distributions $A_{fl}(t)$.

Для цитирования:
Леваков А.К., Соколов А.Н., Соколов Н.А. Модели входящего потока заявок в пакетных сетях // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2015. – Том 9. – №5. – С. 91-94.

For citation:
Levakov A.K., Sokolov A.N., Sokolov N.A. Models of incoming traffic in packet networks. T-Comm. 2015. Vol 9. No.5, pp. 91-94. (*in Russian*).

Statement of the problem

Consider a sequence of requests on the input of the teletraffic system. This sequence is shown in Figure 1 on the axis "time". It consists of the eight requests. Duration between adjacent requests i and $i+1$ equals to t_i.

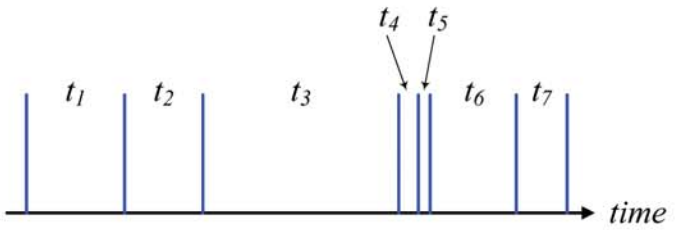

Figure 1. Incoming traffic as a sequence of requests

Value of t_i is random variable. It is well known [5] that all characteristics of random variable can be calculated from its distribution function $A(t)$. The main part of teletraffic models describing packet networks is based on distribution functions that are defined on interval $[a,\infty)$. It is often assumed that $a=0$.

The usefulness of interval $[0,\infty)$ should be discussed in more detail. Two cases are interesting. In first case the requests are the calls generated by telephone set. In second case the requests are the IP-packets produced by personal computer.

In first case value t_i may indeed be either very small or very large. For the Plain Old Telephone Service [6], function $A(t)$ is well described by an exponential distribution. Sometimes this function is well represented with heavy-tailed distributions. Functions defined within interval $[0,\infty)$ are generally used for such types of distributions. Interval of the argument t has infinite length. Corresponding distributions shall be denoted below as $A_{il}(t)$. Subscript "il" is the first letters in the words "infinite length ".

For the second case, the situation is different. During each communication session, an exchange by significant amount of IP-packets takes place. Assume that first packet has appeared at the moment α. It means next packet will arrive up till time moment β with probability close to 1. The value $(\beta-\alpha)$ depends on some characteristics of packet network, types of traffic, etc. In any case, this value is relatively small. Therefore function $A_{fl}(t)$ should be selected from the distributions defined within interval $[\alpha,\beta]$.

Incoming traffic aggregated in the input of switching node depends on number of connected user-network interface and form of function. If this function can be presented by distribution $A_{il}(t)$ then incoming traffic corresponds to distribution $A(t)$ defined within interval $[0,\infty)$. Otherwise incoming traffic will be described by means of distribution $A(t)$ defined within interval of finite length.

Random variable t_i has a number of features. One of them is high value of coefficient of variation for some types of traffic. This fact is confirmed by the results of measurements. The considered task is investigation of difference between characteristics of requests delays for two queueing systems. Distinction between these systems lies in the type of functions $A(t)$. First function belongs to the type $A_{il}(t)$. Second function belongs to the type $A_{fl}(t)$. For both types of functions, average values $A^{(1)}$ and coefficients of variation C_A are assumed to be identical.

Considered models

Consider two teletraffic models belonging to the $G/D/1$ family. This designation is based on Kendall's notation [7]. Digit "1" in a third position means that the system uses a single service unit. The second symbol indicates that a service time of requests is constant. This assumption is appropriate for packet switches. Letter "G" in the first position is used for input process with general distribution law. Functions $A_{fl}(t)$ will define the first teletraffic models. For the second teletraffic models, functions $A_{il}(t)$ will be used.

Assume that both types of distributions have finite values of the mean $A^{(1)}$ and the coefficient of variation C_A. Both models are investigated for different ranges of C_A. For the first and second examples, $C_A \le 1$. Condition $C_A > 1$ is used for the third example.

First example

First model with function $A_{fl}(t)$ is presented by uniform distribution on the interval $[\alpha,\beta]$. For the same model, Erlang distribution with k as the shape parameter is used as example of function $A_{il}(t)$. Value λ is called the rate parameter for Erlang distribution. In Kendall's notation, studied models are referred to as $U/D/1$ and $E_k/D/1/$ respectively.

Distribution characteristics $A^{(1)}$ and C_A should be identical for the both functions. This condition allows us to write the following expressions [5]:

$$\frac{\alpha+\beta}{2}=\frac{1}{\lambda},\quad \frac{\beta-\alpha}{(\beta+\alpha)\sqrt{3}}=\frac{1}{\sqrt{k}}. \qquad (1)$$

The simplest solution is obtained when $k=3$. Then $\alpha=0$. In this case values β and λ are interconnected as follows:

$$\beta=\frac{2}{\lambda}. \qquad (2)$$

Mean delay time $S^{(1)}$ and corresponding coefficient of variation C_S are considered as the functions of the load ρ. This value is calculated as the ratio of $B^{(1)}$ to $A^{(1)}$. Hereinafter, the value of $B^{(1)}$ is equal to one. For the proposed model, $B^{(1)}$ is mean value of processing time of requests.

Delay characteristics were obtained by simulation. Estimation of functions $S^{(1)} = F(\rho)$ indicate that substantial delay is inherent in the distributions $A_{fl}(t)$. The distinction of values $S^{(1)}$ is explained by the distribution of busy period [8] for both models. Functions $C_S = F(\rho)$ are shown in figure 2. Obviously the coefficient of variation C_S are also more for distributions $A_{fl}(t)$.

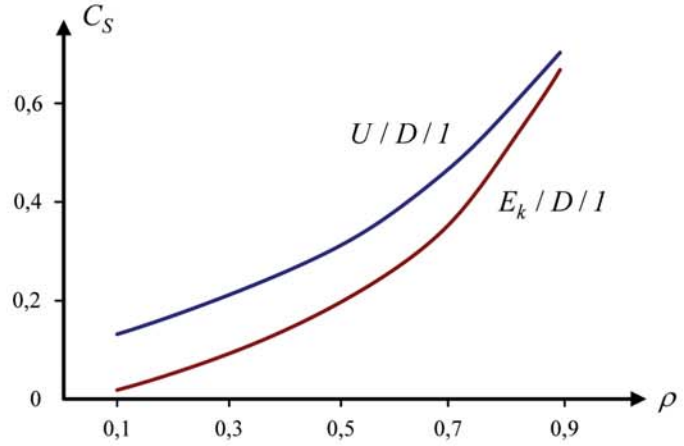

Figure 2. Coefficient of variation C_S as a function of load ρ under $C_A < 1$

It is interesting to check the validity of these conclusions under other distributions of service time. One of other distributions is considered in the next section of the article.

Second example

Similar results can be obtained for models $U/M/1$ and $E_k/M/1$. Symbol "M" corresponds to exponential distribution of service time. For both model, distribution function of the delay $S(t)$ is well known [8]:

$$S(t) = 1 - exp\left[-(1-\upsilon)\frac{t}{B^{(1)}}\right]. \quad (3)$$

Value υ lies within the range $(0, 1)$. For calculation of this value, Laplace transform $A^*(s)$ of the function $A(t)$ should be found. Then υ will be root of the following equation:

$$\upsilon = A^*\left(B^{(1)} - \upsilon B^{(1)}\right). \quad (4)$$

Laplace transforms $A^*(s)$ for functions $A_{fl}(t)$ and $A_{il}(t)$ are given for instance in handbook [9]. Values υ calculated for the second example are shown in table I. The difference between the values υ for both models are placed in the bottom row of the table.

For this example, $\upsilon_2 > \upsilon_1$. This means that average delay and its variance will always be greater for distributions of the form $A_{fl}(t)$. Calculations based on some other distributions of service time led to the following conclusion: for any distribution of service time two inequalities are true:

$$^{fl}S^{(1)} >^{il} S^{(1)}, \quad ^{fl}C_S >^{il} C_S. \quad (5)$$

Table I

Values υ for considered models and their difference

Load ρ	0,1	0,3	0,5	0,7	0,9
υ_1, model $E_k/M/1$	0,013	0,132	0,331	0,575	0,842
υ_2, model $U/M/1$	0,053	0,183	0,361	0,587	0,853
Difference, %	75,5%	27,9%	8,3%	2,0%	1,3%

Left superscript at the parameters of the delay determines the nature of the incoming traffic.

Third example

In some cases, coefficient of variation C_A is more than one. To solve this problem the following models are suitable: $B/D/1$ and $W/D/1$. Symbols "B" and "W" are used for designation of beta distribution and Weibull distribution respectively.

For beta distribution with parameters u and v, values $A^{(1)}$ and C_A are calculated by the following formulas [5]:

$$A^{(1)} = \frac{u}{u+v}, \quad C_A = \sqrt{\frac{v}{u(u+v+1)}}. \quad (6)$$

For investigation of the model $B/M/1$ it is needed to define parameters u and v. These values are estimated from the formulas (6):

$$v = \frac{\left[1-A^{(1)}\right]\left[1-A^{(1)}\left(1+C_A^2\right)\right]}{A^{(1)}C_A^2}, \quad u = \frac{1-A^{(1)}\left[1+C_A^2\right]}{C_A^2}. \quad (7)$$

For Weibull distribution with parameters a and c, values $A^{(1)}$ and C_A are calculated by the following formulas [5]:

$$A^{(1)} = a\Gamma\left(\frac{1}{c}+1\right), \quad C_A = \sqrt{\frac{\Gamma\left(\frac{2}{c}+1\right)}{\Gamma^2\left(\frac{1}{c}+1\right)} - 1}. \quad (8)$$

Values $A^{(1)}$ and C_A calculated by formulas (6) and (8) should be identical. Parameters a and c from expressions (8) can be found only numerically.

Analysis of the functions $S^{(1)} = F(\rho)$ shows that a substantial delay is inherent in the distributions $A_{fl}(t)$. Thus the conclusion obtained for the first and second examples is valid also for large values of the coefficient of variation C_A. Behaviour of functions $S^{(1)} = F(\rho)$ are depicted in figure 3. These functions are plotted for coefficient of variation $C_A = 10$. Delay characteristics were obtained by simulation as in the first example.

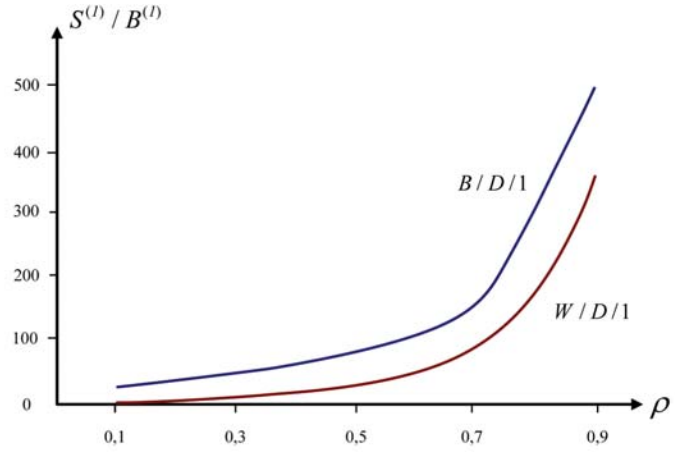

Figure 3. Average delay $S^{(1)}$ as a function of load ρ under $C_A > 1$

The values on the y-axis indicate the possibility of a large queue of demands. For such models, waiting time distribution becomes asymptotically exponential one [10]. This means $C_S \approx 1$.

The usage of other distributions does not change the character of the curves. In particular, this conclusion was confirmed using hyperexponential distribution and Pareto distribution. This means inequalities (5) are also true for the distributions of incoming traffic with high values of the coefficient of variation C_A.

Conclusion

The purpose of this article is simple. The distributions that are defined on interval of finite length are very useful for investigation of incoming traffic in packet networks. Analytical expressions and simulation results confirmed the effectiveness of the proposed approach to the description of the downstream applications.

References

1. *Erlang A.K.* The Theory of Probabilities and Telephone Conversations. – Nyt Tidsskrift for Matematik B. Vol 20, 1909.

2. *Kornyshev Y.N., Pshenichnikov A.P., Kharkevich A.D.* Teletraffic Theory. Moscow. Radio i Svyaz', 1996.

3. *Mandelbrot B.B.* Fractals: Form, Chance, and Dimension. San Francisco. Freeman, 1977.

4. *Crovella M.E., Taqqu M.S., Bestavros A.* Heavy-tailed probability distributions in the World Wide Web. In A Practical Guide To Heavy Tails, Robert J. Adler, Raisa E. Feldman, and Murad S. Taqqu, Eds., chapter 1, pp. 3-26. Chapman and Hall, New York, 1998.

5. *Vadzinskij R.N.* Spravochnik po veroyatnostnym raspredeleniyam. SPb. Nauka, 2001.

6. *Davydov G.B., Roginsky V.N., Tolchan A.Y.* Telecommunication networks. Moscow. Svyaz', 1977.

7. *Kendall D.G.* Stochastic Processes Occurring in the Theory of Queues and their Analysis by the Method of the Imbedded Markov Chain. The Annals of Mathematical Statistics 24 (3), 1953.

8. *Kleinrock L.* Teorija massovogo obsluzhivanija. Moscow. Mashinostroenie, 1979.

9. *Ditkin V.A., Prudnikov A.P.* Integral'nye preobrazovaniya i operatsionnoe ischislenie. Moscow. Nauka, 1974.

10. *Kleinrock L.* Vychislitel'nye sistemy s ocheredjami. Moscow. Mir, 1979.

МОДЕЛИ ВХОДЯЩЕГО ПОТОКА ЗАЯВОК В ПАКЕТНЫХ СЕТЯХ

Леваков Андрей Кимович, *директор по эксплуатации сетей связи мак-рорегионального филиала "Центр" ОАО "Ростелеком", к.т.н.,* ***levakov1966@list.ru***

Соколов Андрей Николаевич, *старший научный сотрудник научно-технического центра "СевенТест", к.т.н.,* ***asokolov@seventest.ru***

Соколов Николай Александрович, *главный научный сотрудник ФГУП ЛО ЦНИИС, д.т.н.,* ***sokolov@niits.ru***

Значительная часть исследований, связанных с входящим потоком заявок, основана на моделях с так называемыми "тяжелыми хвостами". Рассматриваются модели, которые, можно сказать, "не имеют хвостов". Такое выражение обусловлено тем, что рассматриваются распределения входящего потока заявок, которые заданы на конечном интервале времени. Подобные модели, по мнению авторов статьи, более корректно представляют входящий поток заявок в пакетных сетях. Среднее значение времени задержки заявок и коэффициент вариации этой же случайной величины превышают аналогичные величины, свойственные моделям с "тяжелыми хвостами".

Ключевые слова: *входящий поток заявок, модель телетрафика, распределение, среднее значение времени задержки, коэффициент вариации.*

For citation:
Levakov A.K., Sokolov A.N., Sokolov N.A. Models of incoming traffic in packet networks. T-Comm. 2015. Vol 9. No.5, pp. 91-94. (*in Russian*).

11-й МОСКОВСКИЙ МЕЖДУНАРОДНЫЙ ИННОВАЦИОННЫЙ ФОРУМ

ТОЧНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ – ОСНОВА КАЧЕСТВА И БЕЗОПАСНОСТИ

проводится в соответствии с распоряжением Правительства Российской Федерации от 5 апреля 2014 г. № 541-р

19-21 мая '2015
Москва ВДНХ Павильон №69

СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ ВЫСТАВКИ

- MetrolExpo
- Control&Diagnostic
- ResMetering
- LabTest
- PromAutomatic

ОРГАНИЗАТОР
Министерство промышленности и торговли Российской Федерации (Минпромторг России) и Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии (Росстандарт)

СОДЕЙСТВИЕ
Аппарат Правительства Российской Федерации

МЕЖДУНАРОДНЫЕ ПАРТНЕРЫ
The International Bureau of Weight and Measures (BIPM)
International Organization of Legal Metrology (OIML)
The International Committee for Non-Destructive Testing (ICNDT)
Euro-Asian Cooperation of National Metrology Institutions (COOMET)

С ЭКСПОЗИЦИОННЫМ УЧАСТИЕМ
Минпромторг России, Минэнерго России, Минобрнауки России, МВД России, Росстандарт, Ростехнадзор, Роскосмос, ГК «Росатом», ГК «Ростехнологии», ОАО «РОСНАНО», ОАО «РЖД», Фонд «Сколково»

КОНКУРСНАЯ КОМИССИЯ
ФБУ «Ростест-Москва»

УСТРОИТЕЛЬ И ВЫСТАВОЧНЫЙ ОПЕРАТОР
Компания «Вэстстрой Экспо»

ПРОГРАММА ФОРУМА
11-я выставка средств измерений и метрологического обеспечения **«METROLEXPO-2015»**
4-я выставка промышленного оборудования и приборов для технической диагностики и экспертизы **«CONTROL&DIAGNOSTIC-2015»**
4-я выставка технологического и коммерческого учета энергоресурсов **«RESMETERING-2015»**
3-я выставка лабораторного, испытательного и тестового оборудования **«LABTEST-2015»**
3-я выставка КИПиА и компонентов для промышленной автоматизации **«PROMAUTOMATIC-2015»**
7-й Всероссийский симпозиум метрологов **«ТОЧНОСТЬ. КАЧЕСТВО. БЕЗОПАСНОСТЬ»**
Всероссийская выставочно-конкурсная программа **«ЗА ЕДИНСТВО ИЗМЕРЕНИЙ»**

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ
Стратегическая задача форума и выставки – создание международной коммуникационной платформы и содействие внутреннему сотрудничеству в области приборостроения, объединяющего представителей федеральных органов исполнительной власти, науки и бизнеса, с целью удовлетворения потребностей страны и общества в высокоточных измерениях, информатизации отрасли, формирования финансовых механизмов поддержки и продвижения инноваций, привлечения инвестиций международных и российских экономических институтов развития.

ДИРЕКЦИЯ ФОРУМА
129223, Москва, а/я 35. ул. Сельскохозяйственная, д. 35, стр. 182
Тел./Факс: +7 (495) 937-40-23 (многоканальный)
www.metrol.expoprom.ru
E-mail: metrol@expoprom.ru

12+

реклама

СВЯЗЬ ЭКСПОКОММ 2015

12–15 мая

ЭКСПОЦЕНТР

27-я международная выставка телекоммуникационного оборудования, систем управления, информационных технологий и услуг связи

Организаторы:
- ЗАО «Экспоцентр»
- Фирма «И.Джей.Краузе энд Ассоусиэйтс, Инк.» (США)

При поддержке:
- Министерства связи и массовых коммуникаций РФ
- Министерства промышленности и торговли РФ
- Федерального агентства связи (Россвязь)
- Правительства Москвы

Под патронатом
Торгово-промышленной палаты РФ

Россия, Москва, ЦВК «Экспоцентр»

www.sviaz-expocomm.ru