

# VI МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ И НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

▪АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ИНФОТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ  
В НАУКЕ И ОБРАЗОВАНИИ▪

6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON ADVANCED INFOTELECOMMUNICATION (ICAIT 2017)



COLLECTION OF SCIENTIFIC PAPERS

# СБОРНИК НАУЧНЫХ СТАТЕЙ

УДК 001:061.3(082)  
ББК 72 А43

**Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании.** VI Международная научно-техническая и научно-методическая конференция; сб. науч. ст. в 4 т. / Под. ред. С. В. Бачевского; сост. А. Г. Владыко, Е. А. Аникевич. СПб. : СПбГУТ, 2017. Т. 1. 580 с.

#### ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ

##### Председатель

*Бачевский С. В.*, доктор технических наук, профессор, ректор СПбГУТ (Россия)

##### Заместители председателя

*Дукельский К. В.*, кандидат технических наук, доцент, проректор по научной работе СПбГУТ (Россия)

*Алексеев И. А.*, кандидат педагогических наук, проректор по воспитательной работе и связям с общественностью СПбГУТ (Россия)

##### Ответственный секретарь

*Владыко А. Г.*, кандидат технических наук, member IEEE, СПбГУТ (Россия)

##### Члены программного комитета

*Yevgeni Koucheryavy*, professor, Ph. D., Senior member IEEE, Department of Electronics and Communication Engineering Tampere University of Technology (Finland)

*Tina Tsou*, Liaison rapporteur Huawei Technologies, editor positions in ITU-T, IETF and ETSI, Huawei (China)

*Matthias Schnöll*, professor, Ph. D., Fachbereich Elektrotechnik, Anhalt University of Applied Sciences (Germany)

*Hyeong Ho Lee*, Ph. D. in Electrical Engineering, Vice President of IEEK (Institute of Electronics Engineers of Korea), ETRI (Korea)

*Edison Pignaton de Freitas*, professor adjunto, Ph. D., Federal University of Rio Grande do Sul (Brasil)

*Andrej Kos*, professor, Ph. D., University of Ljubljana (Slovenia)

*Janusz Pieczerak*, M. Sc., Orange Labs (Poland)

*Сеилов Ш. Ж.*, доктор технических наук, президент Казахской Академии Инфокоммуникации (Казахстан)

*Кирик Д. И.*, кандидат технических наук, доцент, декан факультета радиотехнологий связи СПбГУТ

*Бузюков Л. Б.*, кандидат технических наук, профессор, декан факультета инфокоммуникационных сетей и систем СПбГУТ

*Коротин В. Е.*, кандидат технических наук, доцент, декан факультета информационных систем и технологий СПбГУТ

*Колгатин С. Н.*, доктор технических наук, профессор, декан факультета фундаментальной подготовки СПбГУТ

*Арзуманян Ю. В.*, кандидат технических наук, доцент, декан факультета экономики и управления СПбГУТ

*Лосев С. А.*, кандидат исторических наук, профессор, декан гуманитарного факультета СПбГУТ

*Лубяников А. А.*, кандидат педагогических наук, доцент, директор Института военного образования СПбГУТ

## ГЕНЕРАЛЬНЫЙ СПОНСОР



## СПОНСОРЫ КОНФЕРЕНЦИИ



В научных статьях участников конференции исследуются состояние и перспективы развития мирового и отечественного уровня ИТ и телекоммуникаций. Предлагаются методы и модели совершенствования научно-методического обеспечения отрасли связи и массовых коммуникаций.

Предназначено научным работникам, аспирантам и студентам старших курсов телекоммуникационных и политехнических вузов, инженерно-техническому персоналу и специалистам отрасли связи.

**ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ  
СПбГУТ, Россия****Председатель**

*Машков Г. М.*, доктор технических наук, профессор,  
первый проректор–проректор по учебной работе

**Заместитель председателя**

*Антипин Б. М.*, кандидат технических наук, доцент,  
директор научно-исследовательского института  
«Технологии связи»

**Ответственный секретарь**

*Аникевич Е. А.*, кандидат технических наук, началь-  
ник отдела организации научно-исследовательской  
работы и интеллектуальной собственности

**Члены организационного комитета**

*Ивасишин С. И.*, кандидат технических наук, про-  
ректор по качеству

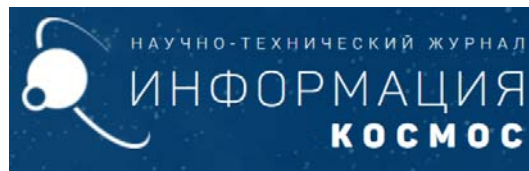
*Казakov Д. Б.*, начальник управления информатиза-  
ции

*Колесникова О. А.*, начальник управления марке-  
тинга и рекламы

*Ландер Т. С.*, начальник управления информаци-  
онно-образовательных ресурсов

*Минаков Л. М.*, главный специалист отдела аспи-  
рантуры и докторантуры

*Сибрикова Т. А.*, главный специалист отдела орга-  
низации научно-исследовательской работы и ин-  
теллектуальной собственности

**ГЕНЕРАЛЬНЫЙ  
ИНФОРМАЦИОННЫЙ ПАРТНЕР****ИНФОРМАЦИОННАЯ ПОДДЕРЖКА**

Научное издание  
Литературное редактирование,  
корректурa Е. А. Аникевич  
Оформление Л. М. Минаков  
Верстка Е. М. Аникевич  
Подписано в печать 30.05.2017.  
Вышло в свет 30.06.2017. Формат 60x90 1/8.  
Уст. печ. л. 36,25. Заказ № 031-ИТТ-2017.  
пр. Большевиков, д. 22, корп. 1.  
Россия, Санкт-Петербург, 193232

Неисключительные права на все материалы, опублико-  
ванные в данном издании, принадлежат СПбГУТ.  
Все материалы, авторские права на которые принадлежат  
СПбГУТ, могут быть воспроизведены при наличии письмен-  
ного разрешения от СПбГУТ. Ссылка на первоисточник  
обязательна. По вопросам приобретения неисключительных  
прав и использования сборника обращайтесь по тел. (812) 312-  
83-79, e-mail: telecomsut@gmail.com. Тип компьютера, процес-  
сор, сопроцессор, частота: Pentium IV и выше / аналогичное;  
оперативная память (RAM): 256 Мб и выше; необходимо  
на винчестере: не менее 64 Мб; ОС MacOS, Windows (XP,  
Vista, 7) / аналогичное; видеосистема встроенная; дополни-  
тельное ПО: Adobe Reader версия от 7.X или аналогичное. Защита  
от незаконного распространения: реализуется встроенными  
средствами Adobe Acrobat.

**СОДЕРЖАНИЕ**

Пленарное заседание	4	Plenary Meeting
Радиотехнологии связи	27	Radio Technology Communication
Сети связи специального назначения	277	Special-purpose Communication Networks
Аннотации	528	Annotations
Авторы статей	555	Authors of Articles
Авторский указатель	578	The Author's Index

УДК 004.056.5

## АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ В ИНФОТЕЛЕКОММУНИКАЦИЯХ

**С. П. Присяжнюк, М. Ю. Аванесов, А. С. Присяжнюк**

ЗАО «Институт телекоммуникаций»

*В информационный век интенсивного развития инфотелекоммуникаций и повсеместного их внедрения, требуются новые подходы к их созданию и применению с учетом геопространственной информации. Геоинформационная реальность такова, что объективно существует потребность в геопространственной информации о пространственно-временной структуре Земли в составе Вселенной для каждого физического лица и организаций все видов (включая государства).*

*геопространственная информация, инфокоммуникационные технологии, коммуникация, когнитивная сеть, объектно-ориентированный подход.*

Стали интенсивно развиваться геоинформационные системы (ГИС) предназначенные для сбора, обработки, анализа, моделирования и отображения данных, а также решения информационных, расчетных задач с использованием разных видов геопространственной аналоговой и текстовой информации [1].

Для разработки приложений ГИС в разных предметных областях разработаны программные инструментальные средства ГИС обеспечивающие разработку, отладку и тестирование ГИС-приложений.

В инфотелекоммуникациях геоинформационная система ИТК ГИС представляет собой функционально-ориентированную ГИС, предназначенную для развития инфотелекоммуникационных технологий. Основные направления развития инфотелекоммуникационных ГИС представлены на рис. 1.

Использование сетевых защищенных когнитивных инфотелекоммуникационных ГИС позволяет решать следующие проблемы:

- работу всех пользователей инфотелекоммуникаций в едином геоинформационном пространстве;
- работу с общедоступной информационной базой данных объектов инфраструктуры;



- работу с трехмерными картами и моделями;
- проведение тематического ситуационного моделирования и выдачу рекомендаций для принятия решений на всех стадиях развития инфотелекоммуникаций;
- обеспечивается унифицированный доступ к информационным ресурсам ГИС через WEB;
- работу пользователей в единой электронной системе документооборота;
- контроль доступа к данным и защиту информации.



Рис. 1. Основные направления развития ГИС

Однако сегодня имеется ряд проблемных вопросов в направлении создания ИТК ГИС. Это прежде всего реализация сильносвязного пространства с многочисленными взаимоувязанными средствами сете – и каналоб-разования, выстроенного по принципам их иерархий с сильно развитыми вертикальными и горизонтальными межвидовыми связями. Это накладывает очень жесткие требования на качество и актуальность геопространственной информации практически в глобальном масштабе при использовании ИТК ГИС в процессе разработки и развития инфотелекоммуникаций, а также в процессе планирования организации, восстановления связи и оперативного управления инфотелекоммуникациями.

Анализ существующих ГИС, классификация которых представлена на рис. 2, показала, что для применения в инфотелекоммуникациях наиболее перспективными являются когнитивные объектно-ориентированные

с автоматической генерализацией 2D, 3D и 4D визуализаций геоинформационные системы [2].



Рис. 2. Классификация ГИС

Опыт проектирования инфотелекоммуникаций при подготовке олимпиады в 2014 году в Сочи с помощью, когнитивной объектно-ориентированной ГИС-3D (рис. 3–5) позволил оценить эффект от внедрения ГИС-3D в инфотелекоммуникациях [3, 4]. Полученный опыт был в следующем.



Рис. 3. Работа в едином геоинформационном пространстве



Рис. 4. Подземные коммуникации



Рис. 5. Моделирование

- Существенно повысилась эффективность инфотелекоммуникаций.
- Осуществлен полный учет геопространственных факторов на качество услуг.
- Существенно сокращено время проектирования и планирования применения инфотелекоммуникационных систем.
- Повысилась эффективность использования частотного ресурса.



- Сокращено время устранения последствий чрезвычайных ситуаций.
- Повысилось качество оперативного управления.
- Существенно снизились затраты при проектировании и эксплуатации инфотелекоммуникаций.
- Существенно повысилась живучесть инфотелекоммуникационной сети обеспечивающей проведение олимпийских игр.

В заключение следует отметить. Наиболее актуальным направлением развития инфотелекоммуникационных ГИС является создание объектно-ориентированных когнитивных с автоматической генерализацией и возможностью оперативно моделировать на мультимасштабных картах в 2D, 3D и 4D форматах в защищенном сетевом режиме ГИС.

#### Список используемых источников

1. Присяжнюк С. П., Филатов В. Н., Федоненков С. П. Геоинформационные системы военного назначения: учебник. СПб.: БГТУ, 2990. 316 с.
2. Присяжнюк С. П., Филатов В. Н. Современное состояние и направления развития геоинформационных систем // РТИ Системы ВКО-2016. IV Всероссийская научно-техническая конференция: труды конференции, г. Москва, МГТУ им. Баумана, 2017. С. 825–829.
3. Зализнюк А. Н., Александров Ю. С., Присяжнюк С. П., Карманов Д. В., Присяжнюк А. С. Объектно-ориентированная геопространственная информация, достоинства и недостатки при ее создании и применении // Информация и Космос. 2017. № 2. С. 102–106.

УДК 004.738

## МЕДИЦИНСКИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ ИНТЕРНЕТА НАНО-ВЕЩЕЙ

**Р. И. Глушаков<sup>1</sup>, Р. В. Киричек<sup>2</sup>, Р. Я. Пирмагомедов<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет

<sup>2</sup> Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

*В настоящее время, Интернет вещей является одним из факторов, определяющих развитие отрасли связь. Согласно этой концепции, ключевым элементом в сетях связи становятся устройства, подключенные к Интернету, создающие потоки трафика с новыми параметрами, не характерными для речи, видео и данных. Интернет вещей проник в различные отрасли и сферы жизнедеятельности, насчитывая огромное количество приложений. Одним из новых направлений Интернета вещей являются медицинские приложения. Отличительная особенность таких приложений – миниатюризация до наноуровня с целью встроить датчики и исполнительные устройства в живые организмы. Концепция создания телекоммуникационных устройств наноуровня, способных*

*осуществлять передачу данных локально между собой и через Интернет, получила название Интернет Нано-Вещей, а сами сети наноустройств – наносети. В связи с тем, что Интернет Нано-Вещей только вступает в стадию активного исследования статья знакомит читателей как с общими подходами с медицинской точки зрения, так и техническим видением организации информационного обмена с наноустройствами, расположенными в живом организме.*

*медицинское приложение, графен, наносети, Интернет Нано-Вещей, сенсорные сети, иммунотолерантность.*

### *Графен – основа Интернета Нано-Вещей*

Согласно определению, графен – это двумерная аллотропная модификация углерода, образованная слоем атомов углерода толщиной в один атом, находящихся в  $sp^2$ -гибридизации и соединённых посредством  $\sigma$ - и  $\pi$ -связей в гексагональную двумерную кристаллическую решётку [1]. Как следует из некоторых источников, отдельные попытки его изучения предпринимались ещё в XIX веке, однако системное и целенаправленное исследование этого материала началось относительно недавно, после того как был найден простой способ изготовления изолированных образцов графена [2]. Предложенный метод микромеханического расслоения оказался очень простым и эффективным, а для его реализации не требуется больших инвестиций или сложного оборудования. Это обстоятельство способствовало расширению географии исследований. Другая причина высокой популярности графена – это его уникальные свойства. Графен это самый тонкий из известных материалов; является отличным проводником электричества и тепла; очень упругий; непроницаем для любых молекул. Это только те свойства, которые уже исследованы, и их список постоянно пополняется, благодаря чему, графен считается перспективным для широкого спектра приложений простирающихся от электроники [3, 4, 5] до композитных материалов [4, 6, 7].

Если говорить о сфере информационных технологий, то мы делаем ставку на графен как на базовый элемент инновационных электронных вычислительных устройств. Применение этого материала, по небезосновательным ожиданиям, позволит создавать миниатюрные и в тоже время очень производительные элементы электронных устройств – процессоры, антенны, приемники, передатчики. В плане коммуникаций, за счет эффекта поверхностных плазмонных поляритонных волн возникающего в графене, можно говорить о передаче данных при помощи электромагнитных волн на частотах ТГц диапазона [8], при этом размеры антенн измеряются в нанометрах. Это позволяет говорить о создании микроскопических устройств – наномашин, способных выполнять простейшие задачи и при этом иметь канал связи как между собой, так и с удаленным сервером через интернет [9, 10].

Медицина – одна из областей, где имеется спрос на подобные устройства. Основные задачи, которые можно решать с помощью данных технологий – ранняя диагностика болезней и мониторинг состояния организма в реальном времени [11].

### *Медицинское предназначение приложений Интернета Нано-Вещей и формы реализации*

Здравоохранение XXI века – эпоха профилактической (превентивной) и персонифицированной медицины, направленной преимущественно на предотвращение и раннее выявление заболеваний. С другой стороны, лечебная тактика, как предсказывается экспертами, будет подбираться индивидуально с учетом генетических (наличие мутаций и полиморфизма генов), эпигенетических (профили метилирования генов, транскриптома, микроРНК, протеома) данных, особенностей фармакогенетики (индивидуальной чувствительности к лекарственным средствам), синтеза персонализированных таргетных лекарственных препаратов, генноинженерной терапии *in vivo*, особенностей микробиома и других факторов, влияющих на результат лечения [12]. Следует отметить, что на пороге 6-го технологического уклада, 90 % всех объемов информации, накопленных человечеством за все время существования, получено в последние 3–5 лет, при этом статистическая обработка медицинской информации, выполненная в последнее десятилетие, поставило под сомнение многие устоявшиеся догмы фундаментальной науки и клинической медицины [13, 14].

Получение достоверной медицинской информации, желательно в режиме реального времени, её качественная обработка позволят решить определенные задачи, стоящие перед медицинской наукой в новом тысячелетии. Например, получение электрофизиологических параметров организма (электрокардиография, электроэнцефалография), параметров внутренней среды организма (уровни клеточных элементов, чужеродных антигенов, белковых и небелковых молекул в периферической крови или в конкретных компартментах макроорганизма) позволит сократить время от начала неблагоприятного события до оказания лечебно-профилактических мероприятий. Особенно эта стратегия эффективна при болезнях с длительной доклинической стадией заболевания, когда от начала заболевания до появления первых симптомов проходит существенное количество времени [15].

Современные успехи микромеханики и микроэлектроники в ближне-срочной перспективе позволят обеспечить физическое проникновение наномашин со встроенными датчиками вглубь биологического объекта: к органам и тканям и, возможно, даже к органеллам и ядру клетки [16]. Информационные технологии Интернета Нано-Вещей позволят обеспечить связанное информационное взаимодействие наномашин, расположенных



в различных частях макроорганизма, и передачу достоверной информации в режиме реального времени и/или при наличии неблагоприятного события [17].

В настоящее время проводится разработка технических медицинских изделий, которые в ближайшей перспективе способны обеспечить решение следующих задач [18]:

- мониторинг параметров организма в режиме реального времени в определенных анатомических точках с возможностью локального или системного ответного воздействия;
- соединение разобщенных вследствие функциональной неполноценности после травм и/или заболеваний связей внутри макроорганизма;
- адресная доставка лекарственных средств и/или другого лечебного воздействия (механического, термического, химического, физического) в конкретных анатомических структурах [19].

### *Ограничения применения*

К настоящему времени разработаны различные технические приспособления, которые имеют в своем составе контактные (нательные датчики), способные считывать различные параметры биологического объекта (пульс, параметры ЭКГ, оксигенация периферической крови и др.) и передавать информацию в режиме реального времени. Однако многие значимые в клинической практике маркеры, особенно имеющие огромное прогностическое значение в плане ранней диагностики неблагоприятного события, возможно получить только при определении параметров биологических жидкостей организма. Для этого необходима установка инвазивных сенсоров, размещенных в конкретных тканях и/или органах с возможностью их длительного энергоснабжения и способностью передавать необходимую информацию должного качества [20, 21].

Однако при решении данных задач имеются определенные сложности, затрудняющие внедрение данных «имплантов» в широкой клинической практике.

*Преодоление иммунотолерантности*, что обеспечит максимальную безопасность нахождения данных устройств в биологическом объекте. При этом на этапе проектирования наноустройств, в том числе необходимо предусмотреть использование материалов для наружной оболочки, не обладающих иммуногенностью.

*Изменение организации здравоохранения, стандартов и порядков медицинской помощи, а также подготовки медицинского персонала.* К настоящему времени имеются незначительные данные об опыте внедрения контактных датчиков, передающих информацию для медицинского персонала через смартфоны. По результатам данных апробаций авторами сделаны вы-

воды, что с учетом настоящего уровня развития общественного здравоохранения в настоящее время получение параметров в режиме реального времени может быть эффективно на небольших группах («пациент – личный врач», «реанимация – дежурный врач», «пациенты с ограниченными возможностями – медицинская сестра») и/или при кардинальном изменении к подходам в организации общественного здравоохранения [22]. Основной причиной неудач явилось отсутствие навыков и/или нежелание работать «в новом режиме» при обращении с новыми техническими устройствами, что коррелировало с возрастом медицинского персонала. С увеличением среднего возраста врачей и медицинских сестер внедрение мобильных приложений оказалось неэффективным в силу ранее устоявшихся традиций работы в том или ином лечебном учреждении [23].

Отдельной позицией заслуживает раннее сигнализирование об острых заболеваниях, сопровождающихся высокой летальностью и/или с короткой доклинической стадией, например, при острых инфарктах миокарда, ишемических инсультах и других локальных критических нарушениях кровообращения [24]. При данных заболеваниях «выигрыш» от ранней диагностики может исчисляться всего лишь несколькими минутами, что при существующей организации скорой медицинской помощи не улучшит конечных результатов лечения при сверххранной диагностике. В данном случае возможна популяризация медицинских знаний и формирование четких алгоритмов само- и взаимопомощи до приезда медицинских специалистов. Также пациенты с ранее перенесенными заболеваниями, составляющие группу риска по рецидиву заболевания, являются «целевой группой», участникам которой возможно установление «умных» имплантов. Именно у участников данной группы обучение действию в конкретных ситуациях после установления «имплантов» обеспечит эффективную третичную профилактику заболеваний – профилактику и раннее выявление рецидивов.

### *Заключение*

Несмотря на очевидные успехи в развитии медицинских приложений Интернета Нано-Вещей, до их внедрения на практике, необходимо проделать большой путь, в технологическом смысле. Помимо задач, носящих глубоко телекоммуникационный характер, так как разработка протоколов маршрутизации в наносетях, эффективных, но энергосберегающих алгоритмов кодирования информации, оптимизации нагрузки на сети связи общего пользования [25] и др., решения требуют задачи, имеющие междисциплинарный характер. К наиболее критичным из них можно отнести разработку источников энергоснабжения наномашин работающих автономно внутри организма, позиционирование устройств в организме и преодоление иммунотолерантности. На решение задачи преодоления иммунотолерантности

направлены в том числе и проводимые в настоящий момент исследования авторов данной статьи [26].

#### Список используемых источников

1. <https://ru.wikipedia.org/wiki/Графен>
2. Novoselov K. S., Geim A. K., Morozov S. V., Jiang D., Zhang Y., Dubonos S. V., Grigorieva I. V., Firsov A. A. Electric Field Effect in Atomically Thin Carbon Films // *Science*, 22 Oct 2004: Vol. 306, Issue 5696, pp. 666–669, DOI: 10.1126/science.1102896.
3. Geim A. K., Novoselov K. S. The rise of graphene // *Nature Materials* 6, pp. 183–191 (2007). DOI:10.1038/nmat1849.
4. Geim A. K. Graphene: Status and Prospects // *Science* 19 Jun 2009: Vol. 324, Issue 5934, pp. 530–534. DOI: 10.1126/science.1158877.
5. Schwierz F. Graphene transistors // *Nature Nanotechnology* 5, pp. 487–496 (2010). DOI:10.1038/nnano.2010.89.
6. Sasha Stankovich, Dmitriy A. Dikin, Geoffrey H. B. Dommett, Kevin M. Kohlhaas, Eric J. Zimney, Eric A. Stach, Richard D. Piner, SonBinh T. Nguyen and Rodney S. Ruoff. Graphene-based composite materials // *Nature* 442, pp. 282–286, 20 July 2006, DOI:10.1038/nature04969.
7. Gong L., Kinloch I. A., Young R. J., Riaz I., Jalil R., Novoselov K. S. Interfacial Stress Transfer in a Graphene Monolayer Nanocomposite // *Advanced Materials* 22 (24), pp. 2694–2697 (2010). DOI: 10.1002/adma.200904264.
8. Jornet J. M., Akyildiz I. F. Graphene-Based Plasmonic Nano-Antenna for Terahertz Band Communication in Nanonetworks // *IEEE JSAC, Special Issue on Emerging Technologies for Communications*, vol. 31, No. 12, pp. 685–694, 2013.
9. Akyildiz, I. F., Brunetti, F., and Blazquez, C. Nanonetworks: A New Communication Paradigm // *Computer Networks (Elsevier) Journal*, Vol. 52, pp. 2260–2279, August 2008.
10. Akyildiz I. F. and Jornet J. M. The Internet of Nano-Things // *IEEE Wireless Communications Magazine*, Vol. 17, no. 6, pp. 58–63, December 2010.
11. Kirichek R., Pirmagomedov R., Glushakov R., Koucheryavy A. Live Substance in Cyberspace – Biodriver System // *Proceedings, 18th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT) 2016. – Phoenix Park, Korea*, pp. 274–278, 2016.
12. Bragazzi, N. L. From P0 to P6 medicine, a model of highly participatory, narrative, interactive, and augmented medicine: some considerations on Salvatore Iaconesi’s clinical story, *Patient Pref. Adherence* 7 (2013), pp. 353–359.
13. Jovanov E. Preliminary analysis of the use of smartwatches for longitudinal health monitoring // *37th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)*, pp. 865–868, 2015.
14. Spencer G. A. Big Data: More than Just Big and More than Just Data // *Front Health Serv Manage.* 2017 Jan. 33 (1), pp. 1–6. DOI: 10.1097/fhs.111111.
15. Atakan B., Akan O. B., Balasubramaniam S. Body area nanonetworks with molecular communications in nanomedicine // *IEEE Commun. Mag.* (2012).
16. Amir Y., Ben-Ishay E., Levner D. et al. Universal computing by DNA origami robots in a living animal // *Nat. Nanotechnol.* 9 (5), pp. 353–357, 2014.
17. Guinard, D.; Trifa, V.; Mattern, F.; Wilde, E. From the Internet of Things to the Web of Things: Resource Oriented Architecture and Best Practices // *In Architecting the Internet of Things*; Uckelmann, D., Harrison, M., Michahelles, F., Eds.; Springer: Berlin, Germany, pp. 97–129, 2011.

18. Hill, N. J., Gupta, D., Brunner, P., et al. Recording Human Electrocorticographic (ECoG) signals for neuroscientific research and real-time functional cortical mapping // J. Vis. Exp. (64), e3993, DOI: 10.3791/3993 (2012).

19. Douglas S. M., Bachelet I., Church G. M. A logic-gated nanorobot for targeted transport of molecular payloads // Science. 335: pp. 831–834, 2012.

20. Пирмагомедов Р. Я., Кучерявый Е. А., Глушаков Р. И., Киричек Р. В., Кучерявый А. Е. Живые организмы в киберпространстве – проект «биодрайвер» // Электросвязь. 2016. № 1. С. 47–52.

21. Пирмагомедов Р. Я., Киричек Р. В., Кучерявый А. Е. Бактериальные наносети // Информационные технологии и телекоммуникации. 2015. № 2 (10). С. 5–10. URL: <http://www.sut.ru/doci/nauka/review/2-15.pdf>

22. Allen D., Gillen E, Rixson L. Systematic review of the effectiveness of integrated care pathways: What works, for whom, in which circumstances? // International Journal of Evidence Based Healthcare 2009; No. 7, pp. 61–74.

23. Frazer S., Hanson D., Wakefield S. Primary care graduate mental health workers' experience of using an integrated care pathway for the treatment of depression in primary care // Primary Care Mental Health. 2006; No. 4, pp. 255–263.

24. Pirmagomedov R., Hudoev I., Kirichek R., Koucheryavy A. and Glushakov R. Analysis of delays in medical applications of nanonetworks // 2016 8th International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops (ICUMT), Lisbon, Portugal, 2016, pp. 49–55. DOI: 10.1109/ICUMT.2016.7765231.

25. Блинников М. А., Пирмагомедов Р. Я. Оптимизация нагрузки на сети связи общего пользования, вызванной трафиком медицинских наносетевых приложений / Информационные технологии и телекоммуникации. 2016. Т. 4. № 3. С. 22–30. URL: <http://www.sut.ru/doci/nauka/review/20163/22-30.pdf>

26. Кучерявый А. Е., Владыко А. Г., Киричек Р. В., Маколкина М. А., Парамонов А. И., Выборнова А. И., Пирмагомедов Р. Я. Перспективы научных исследований в области сетей связи на 2017–2020 годы / Информационные технологии и телекоммуникации. 2016. Т. 4. № 3. С. 1–14. URL: <http://www.sut.ru/doci/nauka/review/20163/1-14.pdf>

## УДК 338.1

# ЭЛЬБРУС КОМПЬЮТИНГ И ЦИФРОВАЯ ЭКОНОМИКА

**З. К. Кондрашов**

ОАО «Позитрон»

*Современный мир невозможно представить себе без компьютеров и информационных систем. С помощью компьютеринга есть возможность интерпретировать информацию, находящуюся в интернете. В России разработаны программно-аппаратные комплексы Эльбрус, отвечающие последним достижениям в области компьютеринга.*

*цифровая экономика, компьютеринг, программно-аппаратные комплексы Эльбрус.*

Обращаясь с посланием к Федеральному Собранию президент Российской Федерации Владимир Путин отметил успехи российской IT – отрасли и предложил государству взять курс на цифровую экономику. «Предлагаю запустить масштабную системную программу развития экономики нового технологического поколения, так называемой цифровой экономики. Это вопрос национальной безопасности и технологической независимости России, в полном смысле этого слова – нашего будущего».

5 декабря 2016 г. правительство РФ опубликовало перечень поручений по реализации послания Владимира Путина. Среди них и поручения Министрству связи и массовых коммуникаций РФ в части, касающейся разработки программы «Цифровая экономика».

Согласно документу, органам государственной власти до 11 мая 2017 г. необходимо разработать и утвердить программу «Цифровая экономика», предусмотрев меры по созданию правовых, технических, организационных и финансовых условий для развития цифровой экономики в РФ и ее интеграции в пространство цифровой экономики государств – членов Евразийского экономического союза.

Фундаментом для развития цифровой экономики является электроника [1]. Электронные устройства стали миниатюрными, оторвались от розетки, когда появились батарейки, в итоге стал возможен интернет вещей. В первые 10 лет (с 1994 г.) развивались электронная торговля и сервисы. Затем цифровая экономика перешла на другую ступень развития: уровень сервисов усложнился, стали объединяться ранее разрозненные технологии. Теперь цифровая экономика охватывает практически все сферы жизни: образование, здравоохранение, онлайн – банкинг. В целом эксперты по цифровой экономике отмечают, что ее развитие должно ускорить экономический рост и в итоге повысить благосостояние людей.

России необходима стратегия развития цифровой экономики, ведь отставание от стран – лидеров цифровизации составляет около 5–8 лет. Мировым лидером по доле цифровой экономики в ВВП является Великобритания. В России доля цифровой экономики в ВВП составляет 2,8 % или 75 млрд долларов. Большая часть, 63 млрд долларов приходится на сферу потребления (интернет – торговля, услуги, поиск онлайн и т. д.)

Широкое распространение Интернета, мобильной связи и информационно-компьютерных технологий (ИКТ) – основа для создания цифровой экономики. Современный мир невозможно представить себе без компьютеров и информационных систем.

В настоящее время интернет стал самым крупным мировым репозиторием распределенной информации. Формы ее представления довольно многообразны и варьируются от Web-страниц до блогов и видео. Информационные сервисы развиваются в направлении агрегирования, индексирования и поисковых возможностей в среде цифровых данных, однако полное зна-

чение данных может быть проинтерпретировано только человеком. В общем случае машины не обладают способностями понимания или умозаключений для основной массы хранимых в сети данных. Они не в состоянии интерпретировать или выводить новую информацию из имеющихся данных и это в последние десятилетия является предметом активного исследования в области искусственного интеллекта. В этой связи на компьютеринг возлагается особая надежда, что он поможет решить эту проблему, причем не в столько отдаленном будущем [2, 3].

Компьютеринг и его развитие ставит целый ряд вопросов, на большую часть из которых ответы либо неполны, либо неизвестны. Некоторые из них: что такое «вычисление»? что такое «информация»? что можно узнать, пользуясь компьютерингом? чего нельзя узнать, пользуясь компьютерингом? — имеют фундаментальное значение. Эти вопросы сопровождали компьютеринг, начиная с 1940-х гг. Казалось, на них имеются ответы, но и сегодня эти же самые вопросы задаются всеми и повсюду, во всех областях науки, инженерии, бизнеса и даже политики. Долгое время бытовала традиция, в соответствии с которой компьютеринг рассматривался как наука о явлениях, сопровождающих компьютеры, и этот взгляд не вызывал сомнения. Компьютеринг всегда был и остается наукой об информационных процессах. Приблизительно с 1995 г. специалисты из разных областей науки, один за другим, стали заявлять, что ими в их же области обнаружены естественные информационные процессы. Эти открытия ввели в обиход иную традицию, в соответствии с которой компьютеринг стал считаться наукой о естественном и об искусственном одновременно.

Возрастает роль научного (экспериментального) метода изучения компьютеринга. Эвристические алгоритмы, распределенные данные, смешанные данные, служебная информация, распределенные сети, социальные сети, автоматизированные робототехнические системы и некоторые другие часто оказываются слишком сложными, чтобы можно было построить их аналитику, но могут изучаться экспериментально. Например, обнаружение оказалось столь же важным, как и конструирование или проектирование. Обнаружение и проектирование оказались взаимосвязанными, в частности, поведение такой спроектированной системы, как Web исследовалось, исходя из наблюдений. Кроме того, были построены симуляторы, которые имитировали обнаруженные информационные процессы. Вместе с тем, компьютеринг породил поисковые средства, которые способствовали научным открытиям в различных областях науки.

В настоящее время современная цифровая экономика не может развиваться в отрыве от информационных технологий. И в России разработаны уже программно-аппаратные комплексы «Эльбрус», отвечающие последним достижениям в области компьютеринга [4, 5].



Микропроцессорная архитектура «Эльбрус» ориентирована на получение максимальной для данных аппаратных ресурсов показателей производительности. В общей классификации она относится к категории архитектур, использующих принцип широкого командного слова (*Very Large Instruction Word, VLIW*), когда компилятор формирует для параллельного исполнения последовательности групп команд (широкие командные слова), в которых отсутствуют зависимости между командами внутри группы и сведены к минимуму зависимости между командами в разных группах. Таким образом, в высокой степени используется параллелизм на уровне операций, присутствующий в данном программном коде, достигается большая архитектурная скорость за счет освобождения аппаратуры от функций распараллеливания, присущих суперскалярным архитектурам, и передачи их оптимизирующему компилятору. Это обусловило и другую важнейшую особенность, свойственную архитектуре «Эльбрус», – низкий уровень энергопотребления аппаратуры.

Наряду с эффективным использованием параллелизма операций в архитектуре «Эльбрус» заложена реализация и других видов (уровней) параллелизма, свойственных вычислительному процессу: векторного параллелизма, параллелизма потоков управления на общей памяти, параллелизма задач в многомашинном комплексе. В качестве принципиального требования к архитектуре разработчики изначально рассматривали обеспечение эффективной двоичной совместимости с архитектурой микропроцессора Intelx86, которая доминирует в сегодняшних универсальных компьютерах. Она реализуется на базе скрытой динамической трансляции и ее поддержки в аппаратуре микропроцессора «Эльбрус». И наконец, к определяющим свойствам новой отечественной архитектуры относится развитие аппаратная поддержка защищенных вычислений (модульного программирования), существенно облегчающая работу программистов при создании больших программных комплексов с ограниченными сроками исполнения.

Невозможно говорить о цифровой экономике в отрыве от развития современного производства. Рассмотрим подробнее ключевые компоненты современного производства?

Рассмотрим пятнадцать ключевых компонентов современного производства (см. рис.) [6].

**1. Кросс-отраслевая кооперация.** Активизация обмена ресурсами, возможностями и потребностями в том числе через уже существующие онлайн-инструменты. Использование эффекта платформы, когда цифровые производители создают сети, соединяющие продавцов и покупателей, повышая доходы за счет эффекта масштаба

**2. Информационная платформа предприятия.** Система управления информацией предприятия Enterprise Information Management (EIM): EIM = PLM + MES + ERP. Именно в такой связке, с взаимной передачей данных

они работают в международных компаниях с 90-х гг. прошлого века, образуя централизованный цифровой информационный хаб, используемый на всех стадиях жизненного цикла производственного проекта: для цифрового конструирования, в цифровом цеху, в цифровой цепи поставок, логистике и цифровой адаптации под потребителя продукта при продажах и сервисном обслуживании. В последнее время как один из важных компонентов EIM, активно развиваются системы класса MDC – Manufacturing Data Collection российских производителей, обеспечивающие мониторинг средств производства с числовым программным управлением и сбор данных о загруженности станков. Накапливать, упорядочивать и управлять информацией на всех этапах жизненного цикла изделий сегодня еще важно и для постепенного перехода через машинное обучение (*machine learning*) к полностью автоматическому производству.

**3.** Конвергенция цифрового и физического в разрабатываемом продукте уже в эскизном проекте.

**4.** Еще на этапе конструирования механического оборудования необходимо продумывать и закладывать в конструкцию выпускаемого продукта способы его взаимодействия через защищенный промышленный интернет вещей с цифровыми системами управления.

**5.** Систематизация, накопление и защита нематериальных активов и интеллектуальной собственности.

Речь идет о секретах производства и ноу-хау.

**6.** Цифровой реверс – инжиниринг. Создание сервисной базы или ремонтного предприятия рядом с потребителем.

Инженерный анализ – виртуальное прототипирование, численный виртуальный эксперимент. Цифровое моделирование работы выпускаемого вами оборудования сильно влияет на сроки разработки и выпуска продукта.

**7.** Цифровые двойники (полная информационная модель) выпускаемого продукта, продвижение и продажи через виртуальную реальность и сервиса с помощью дополненной реальности.

**8.** Энергоэффективность предприятий, сертификация их по стандартам LEED, BREEM и сокращение эксплуатационных затрат на 25 % и более. Это непосредственно влияет на себестоимость продукции этих предприятий и снижает риски энергозависимости предприятий и снижает риски энергозависимости предприятий, риски изменения законодательства и др.

**9.** Учебные центры. Современное производство имеет несколько обучающих центров, расположенных на территории завода.

**10.** Цифровая логистика. Материалы транспортируются с помощью интеллектуальных транспортных узлов, их маршрут отслеживается через RFID маркировку.

**11.** Трансфер технологий. С ускоренным развитием технологий цифрового производства и сокращением сроков выпуска продукции, трансфер

технологий сегодня стал единственной возможностью выживания даже не производителя, а заказчика и эксплуатанта оборудования.

**12.** Аддитивное производство для модельных испытаний и прототипирования. У вас еще нет 3D принтера или партнеров-студии 3D печати? Тогда смотрите компонент 5 о цифровом моделировании – вы не сможете быть такими же быстрыми в разработке и выпуске новых продуктов, как международные производители.

**13.** Автоматизированные рабочие места в цехах. Выход подсистем системы управления информацией предприятий (PDM, MES, MDC) на автоматизированные рабочие места (АРМ) производственных участков. За 10 лет выросло поколение, для которых дисплей привычнее листа бумаги. Молодые слесари-сборщики будут эффективно работать с цифровым интерфейсом состава изделия на АРМ сборочных участков, пользуясь интерактивными электронными техническими руководствами. Операторы станков ЧПУ эффективно используют цифровые ассистенты выполняемых технологических процессов, включающих базы знаний нормативно-справочной информации. Управление производственными процессами, анализ их узких мест и ограничений, принятие управленческих решений на основе этого анализа начальник цеха ведет из главной диспетчерской, пульта управления производством, оборудованной дисплеем, на который поступают видеосигналы со всех производственных участков и информация об их производительности (пример – цех «Высота 239» ЧТПЗ).

**14.** Бережливое производство (*lean*) во всех его проявлениях и порядок в цехах с разработкой и внедрением сильной производственной системы. Огромное количество цехов в России – не отвечающие экологическим стандартам, неухоженные помещения с хаотично накиданным инструментом на верстаках под слоем стружки. Неужели кто-то думает, что в таких условиях возможно произвести конкурентоспособный продукт? Оптимизация планировки цеха, стандартизация производственного процесса, повышение эффективности работы оборудования – важные слагаемые роста производительности труда современного завода.

**15.** Управление проектами. Для обеспечения поставки сложных видов оборудования в срок, с запланированным финансовым результатом и с требуемым качеством, ведущие производственные предприятия создают корпоративные системы управления проектами, обращаясь к лучшим практикам современного управления проектами.

Основываясь именно на этих компонентах, сегодня нужно строить производство программно-аппаратных комплексов (ПАК) Эльбрус.

В связи с этим возникает необходимость нового типа людей на современном производстве, объединяющих управленческие и инженерные компетенции, обладающие нестандартным набором необходимых знаний и умений, позволяющих формировать стратегическое развитие и решать конкретные организационные и технологические задачи.

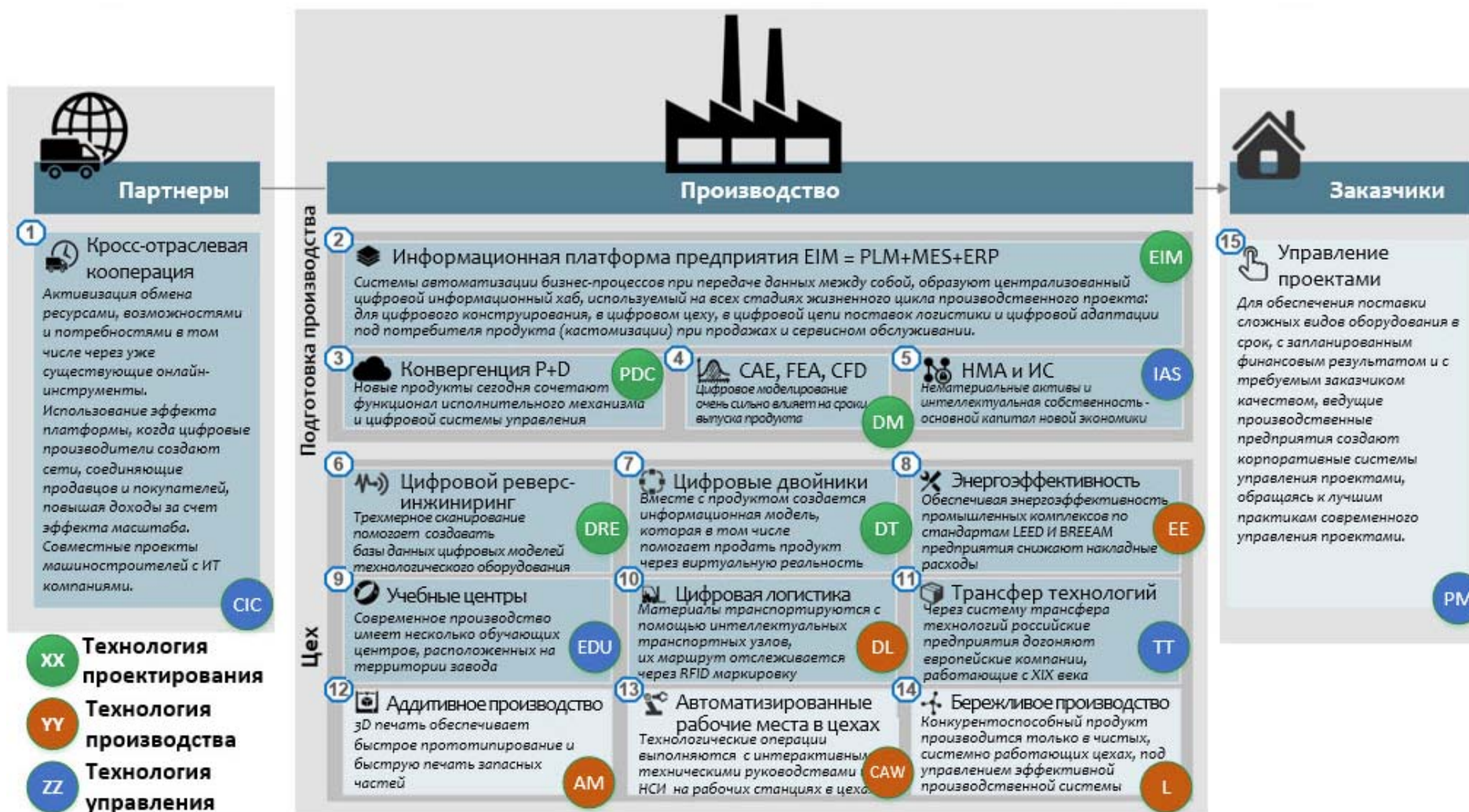


Рисунок. 15 ключевых компонентов современного производства [6]

Сегодня в России у нас есть все шансы построить и развить современное инновационное производство, при условии кооперации и сотрудничества бизнеса и науки.

#### Список используемых источников

1. Задков В. Н. Компьютер в эксперименте: архитектура и программные средства систем автоматизации. М.: Наука, 1988, 376 с.
2. Вольфенгаген В. Э. Аппликативный компьютеринг: попытки установить природу вычислений // Сборник научно-популярных статей – победителей конкурса РФФИ 2006 года. Выпуск 10 / Под ред. чл.-корр. РАН В. И. Конова. М.: Октопус/Природа, 2007. С. 445–459/
3. Вольфенгаген В. Э. Комбинаторы: объекты, помогающие понять строение компьютеринга // Сборник научно-популярных статей – победителей конкурса РФФИ 2007 года. Вып. 11 / Под ред. чл.-корр. РАН В. И. Конова. М.: Октопус, 2008. С. 365–378.
4. Ким А. К. Архитектура, программное обеспечение и области применения компьютеров серии «Эльбрус» // Прикладная информатика. 2010. № 5. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/arhitektura-programmnoe-obespechenie-i-oblasti-primeneniya-kompyuterov-serii-elbrus> (дата обращения 01.02.2017).
5. Фельдман В. М. Состояние и перспективы развития отечественной микропроцессорной аппаратно-программной платформы «Эльбрус» : материалы Международной конференции «Интегральные схемы и микроэлектронные модули». Микроэлектроника 2015, Алушта, 28.09 – 03.10.2015. URL: [http://www.mcst.ru/files/5617a9/140cd8/509c44/000001/soobshchenie\\_feldman\\_mtsst.pdf](http://www.mcst.ru/files/5617a9/140cd8/509c44/000001/soobshchenie_feldman_mtsst.pdf) (дата обращения 01.02.2017).
6. Биленко П., Лысенко С. 15 ключевых компонентов современного производства, которые работают не на всех предприятиях России (и если не работают на вашем, вы проигрываете) [Электронный ресурс] // ISICAD. URL: [http://isicad.ru/ru/articles.php?article\\_num=18964](http://isicad.ru/ru/articles.php?article_num=18964) (дата обращения 03.02.2017).

#### УДК 35.082

### **ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ И СОТРУДНИЧЕСТВО МЕЖДУ ОРГАНАМИ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ВЛАСТИ И ВЫСШИМИ УЧЕБНЫМИ ЗАВЕДЕНИЯМИ В ЦЕЛЯХ ПОДГОТОВКИ КАДРОВ ДЛЯ ГОСУДАРСТВЕННОЙ СЛУЖБЫ (НА ПРИМЕРЕ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ РОСКОМНАДЗОРА В СЗФО)**

**Д. В. Сахаров, А. А. Скакун**

Управление Федеральной службы по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор) по Северо-Западному федеральному округу

*Для большинства федеральных органов исполнительной власти характерны проблемы, связанные с тем, что обычно называют «некомплект» и «текучкой» кадров.*

*Подобные проблемы свойственны и территориальным органам Роскомнадзора, испытывающим трудности в сфере кадрового обеспечения. Именно поэтому укрепление кадрового состава является одним из приоритетных направлений совершенствования деятельности Роскомнадзора.*

*С целью «омоложения» кадров, в 2015–2016 гг. территориальными органами Роскомнадзора в Северо-Западном федеральном округе принят ряд мер, направленных на привлечение на госслужбу молодых специалистов. Ввиду того, что полномочия Роскомнадзора затрагивают области как технического, так и гуманитарного знания, существует очевидная потребность в сотрудничестве с вузами различной направленности.*

*В статье рассматриваются предпосылки, принципы, формы и методы возможного сотрудничества органов государственной власти и высших учебных заведений в целях подготовки кадров для государственной службы на примере взаимодействия Управлений Роскомнадзора в СЗФО с учреждениями высшего профессионального образования.*

*Роскомнадзор, СПбГУТ, СПбГУ, государственная служба, кадры, молодые специалисты, практика студентов, трудоустройство выпускников, карьера.*

Для большинства федеральных органов исполнительной власти характерны проблемы, связанные с тем, что обычно называют «некомплект» и «текучкой» кадров, и обусловленные прежде всего недостаточным уровнем материального обеспечения федеральных государственных гражданских служащих. Подобные проблемы свойственны и территориальным органам Федеральной службы по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор), испытывающим трудности в сфере кадрового обеспечения. Именно поэтому начиная с 2015 г. укрепление кадрового состава решено считать одним из приоритетных направлений совершенствования деятельности Службы в среднесрочной перспективе.

Применительно к территориальным органам Роскомнадзора в Северо-Западном федеральном округе средний показатель укомплектованности кадрами по состоянию на конец 2016 г. составляет 96,5 %, а средний показатель текучести кадров за год – 18 %. В 2015 г. ситуация была несколько иная: укомплектованность составляла 94 %, а текучесть – 19 %. Таким образом, благодаря активизации работы по подбору кадров и внедрению новых кадровых технологий, в течение 2016 г. удалось повысить показатель укомплектованности и снизить показатель текучести.

Безусловно, и некомплектность, и текучесть кадров связаны с целым рядом причин, важнейшей из которых, думается, всё же является объективно невысокий уровень денежного содержания федеральных госслужащих, в конечном счете приводящий к тому, что значительная часть из них после короткого периода замещения должности государственной службы увольняется и переходит на работу в бизнес-структуру. На госслужбе оста-



ются преимущественно лица, либо увлеченные самой идеей служения интересам народа и государства, либо ориентированные на возможный профессиональный и карьерный рост, либо, напротив, с чрезвычайно низким уровнем личностных, профессиональных и финансовых амбиций (последний тип служащих является крайне нежелательным с точки зрения установки на формирование высокопрофессионального и мотивированного коллектива).

Совершенно очевидно, что для создания системы эффективного государственного управления весьма важно формирование «на земле» (т. е. в исполнительных органах государственной власти) полноценной «команды» руководителей и специалистов, объединяющей людей с высокими профессиональными, коммуникативными, морально-волевыми и патриотическими качествами. Кроме того, поскольку решение государственных задач относится преимущественно к плоскости среднесрочной и долгосрочной перспективы, весьма желательно, чтобы коллектив государственных служащих был стабилен и состоял как из опытных, так и из молодых специалистов, осуществляющих свою служебную деятельность в тесном взаимодействии в целях передачи опыта, профессионализма и компетентности.

Не случайно привлечение молодых специалистов в органы государственной власти является одной из важнейших задач кадровой политики Российской Федерации. Это объясняется прежде всего тем, что приток на государственную службу талантливой и преданной интересам Родины молодежи может стать одним из важных факторов повышения эффективности государственного управления.

Президент Российской Федерации В. В. Путин неоднократно указывал на необходимость «омоложения» отечественного чиновничества за счет создания так называемых «социальных лифтов» для перспективных молодых специалистов. В частности, по итогам его участия в первой конференции «Общероссийского народного фронта», состоявшейся 28–29 марта 2013 г. в г. Ростов-на-Дону, был издан Указ Президента РФ от 15.11.2013 № 848, в соответствии с которым для лиц, имеющих дипломы специалиста или магистра с отличием, в течение 3 лет со дня выдачи диплома устанавливаются особые квалификационные требования к стажу работы при назначении на ведущие должности федеральной государственной гражданской службы [1].

Председатель Правительства Российской Федерации Д. А. Медведев также неоднократно отмечал ключевую роль молодежи в формировании системы государственного управления нового типа. «Государство настроено на то, чтобы максимальным образом привлекать молодых специалистов на государственные службы» – заявил он еще в июне 2008 г. на встрече со студентами Санкт-Петербургского государственного университета.

По данным социологических исследований, с точки зрения молодежи, работа в государственных структурах является достаточно привлекательной. Прежде всего, это связано с тем, что в условиях экономической

нестабильности резко возрастает роль государства как крупнейшего работодателя, обеспечивающего надежность и стабильность. Еще одним безусловным «плюсом» работы в государственной структуре является широкая известность имени организации-работодателя. Начинать карьеру с государственной службы и приобретать именно там свой первый опыт сегодня стало престижным.

Несмотря на очевидные сложности и определенные неудобства, связанные с необходимостью адаптации выпускников вузов, впервые поступающих на госслужбу, и их обучением новым навыкам, в приеме на работу молодых специалистов существуют безусловно положительные стороны, среди которых отдельно можно выделить следующие:

1. Отсутствие у выпускников стереотипов, присущих работникам со стажем, и наличие ярко выраженного стремления к профессиональному и карьерному росту.

2. Умеренность требований к размеру денежного вознаграждения.

3. Более высокая степень лояльности молодых специалистов, «воспитанных» внутри ведомства и ориентированных на его результаты, по сравнению со специалистами, имеющими опыт работы и пришедшими с внешнего рынка труда.

Вопросы организации привлечения молодежи на госслужбу оказываются весьма актуальными еще и потому, что благодаря негативным последствиям «демографического провала» 1990-х гг. территориальные органы Роскомнадзора точно так же, как и другие государственные структуры, сталкиваются с проблемой естественного старения кадров. По состоянию на сентябрь 2016 г., средний возраст государственных гражданских служащих Роскомнадзора в Северо-Западном федеральном округе составляет 43 года, при этом самым «возрастным» управлением оказывается Управление по Калининградской области (средний возраст – 48 лет), а самым «молодым» – Управление по Вологодской области (средний возраст – 37 лет).

По сравнению с прошлыми годами по данному показателю отмечается определенный прогресс: если, например, в 2014 г. средний возраст в Управлении Роскомнадзора по СЗФО был 47 лет, то в текущем периоде он равен 40 годам, что представляется оптимальным при условии равного процентного соотношения молодых, 25-летних специалистов и опытных, 55-летних сотрудников.

Несмотря на то, что «возрастные» госслужащие образуют своего рода кадровый «золотой фонд» опытнейших специалистов, в силу естественных причин рано или поздно замещаемые ими должности становятся вакантными, и одна из задач кадрового подразделения органа государственной власти в данном случае заключается как раз в том, чтобы обеспечить преемственность поколений, когда опытные специалисты имеют и время, и возможность передать свои знания и навыки молодым.

Именно по этой причине процесс «омоложения» кадров не должен быть одномоментным и не может достигаться исключительно за счет увольнения «возрастных» сотрудников и назначения на освободившиеся должности молодых специалистов. В данном случае оптимальной формой кадровой работы представляется тот вариант, при котором на планируемые вакансии заранее, возможно даже за несколько лет, подбираются потенциальные сотрудники из числа студентов старших курсов, проходящих учебные практики и стажировки в органах государственной власти.

В связи с этим необходимо отметить, что в 2015–2016 гг. всеми территориальными органами Роскомнадзора в СЗФО уделялось повышенное внимание вопросам выявления и привлечения на государственную службу наиболее талантливых выпускников вузов.

Поскольку в соответствии с п. 8 Положения о практике обучающихся, осваивающих основные профессиональные образовательные программы высшего образования, утвержденного Приказом Министерства образования и науки РФ от 27.11.2015 № 1383, организация проведения практики осуществляется на основе договоров, руководством Управления Роскомнадзора по Северо-Западному федеральному округу было принято решение инициировать заключение соответствующих договоров с профильными вузами [2]. В этих целях 4-мя Управлениями (Управление по СЗФО, по Республике Карелия, Вологодской и Калининградской областям) заключены договоры о сотрудничестве и проведении практики студентов с шестью высшими учебными заведениями.

Заключенные с вузами договоры о сотрудничестве предполагают организацию и проведение Дней открытых дверей, встреч, лекций, семинаров, конференций, конкурсов научных и творческих работ, а также стажировок и производственных практик, способствующих выявлению студентов, заинтересованных в поступлении на государственную гражданскую службу в территориальные органы Роскомнадзора в СЗФО.

Кроме того, во время переговоров с руководством вузов была достигнута договоренность о возможности углубленной специализации для студентов, проявивших интерес к работе в системе Роскомнадзора, за счет введения факультативных учебных курсов, коррелирующих с направлениями деятельности ведомства. Подобная форма сотрудничества, с одной стороны, не обязывает студентов после окончания вуза поступать на госслужбу в Роскомнадзор, однако, с другой стороны, она позволяет подготовить специалистов, владеющих знаниями именно в установленных для ведомства сферах деятельности.

В соответствии с достигнутыми договоренностями, в течение 2016 г. руководством и ведущими специалистами органов Роскомнадзора в СЗФО было прочитано студентам в общей сложности 14 лекций о деятельности ведомства. 4 сотрудника Управления по СЗФО выступили в качестве научных руководителей и рецензентов выпускных квалификационных работ

студентов юридического и филологического факультетов СПбГУ, СПбГУТ и СПбГУП, а также вошли в состав вузовских Государственных аттестационных комиссий.

Для студентов последних курсов бакалавриата и магистратуры территориальными органами Роскомнадзора в СЗФО организуются учебные и производственные практики, стажировки, читаются лекции на территории Управлений и проводятся Дни карьеры, причем подобные мероприятия проходят на постоянной основе.

Кроме того, с докладами по основным направлениям деятельности Роскомнадзора руководители и специалисты территориальных органов Службы в СЗФО в 2016 г. выступили на 18 вузовских конференциях. В частности, в мае 2016 г. на VII Международном молодежном юридическом форуме Роскомнадзором совместно с юридическим факультетом СПбГУ была организована работа тематической секции «Связь, массовые коммуникации и персональные данные: актуальные проблемы правоприменения». В ноябре 2016 г. в Санкт-Петербурге на площадке конгрессно-выставочного центра «Экспофорум» состоялась 8 научно-практическая конференция «Информационная безопасность. Невский диалог», проведенная при активном содействии Управления Роскомнадзора по СЗФО и СПбГУТ. В общей сложности в работе конференции приняло участие около 300 человек, из них 17 сотрудников территориальных органов Роскомнадзора в СЗФО и более 50 преподавателей и студентов университета телекоммуникаций.

Благодаря деятельности по организации сотрудничества с высшими учебными заведениями в целях решения кадровых задач и обеспечения территориальных органов Роскомнадзора молодыми специалистами, в течение 2016 г. на должности государственной гражданской службы в Управлениях Роскомнадзора в СЗФО было назначено 24 выпускника вузов последних двух лет, что составляет 53 % от общего количества лиц, принятых на госслужбу. Именно поэтому представляется, что опыт Роскомнадзора по взаимодействию с вузами является примером эффективного сотрудничества между органом государственной власти и высшими учебными заведениями в целях подготовки кадров для государственной службы.

#### **Список используемых источников**

1. Указ Президента РФ от 15.11.2013 N 848 «О внесении изменения в Указ Президента Российской Федерации от 27 сентября 2005 г. N 1131 «О квалификационных требованиях к стажу государственной гражданской службы (государственной службы иных видов) или стажу работы по специальности для федеральных государственных гражданских служащих».

2. Приказ Минобрнауки России от 27.11.2015 N 1383 «Об утверждении Положения о практике обучающихся, осваивающих основные профессиональные образовательные программы высшего образования» (зарег. в Минюсте России 18.12.2015 N 40168).

## РАДИОТЕХНОЛОГИИ СВЯЗИ

УДК 621.397

### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АКТИВНО-ИМПУЛЬСНОЙ ПОДСВЕТКИ В ТЕЛЕВИЗИОННЫХ КАМЕРАХ ДЛЯ ГЛУБОКОВОДНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

А. М. Александров<sup>1</sup>, Н. В. Понамарев<sup>1</sup>, О. В. Украинский<sup>2</sup>

<sup>1</sup>СКБ «Энергия»

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

*Проведение подводных исследований и подводных работ требует телевизионной передачи изображения объектов, находящихся в условиях недостаточной освещенности и при наличии оптических помех. В работе обосновывается целесообразность использования метода активно-импульсной подсветки как для освещения объекта наблюдения, так и для подавления мешающих изображений.*

*активно-импульсная подсветка, ПЗС-камера, оптическая помеха, оптический затвор, телевизионная камера.*

Создание эффективных технических средств для исследования морских глубин является сегодня актуальной задачей, такие средства необходимы во многих областях деятельности – от поиска биоресурсов до проведения различных подводных работ. При этом наблюдение за подводными объектами, особенно, на большой глубине, осуществляется лишь в дистанционном режиме с помощью телевизионных систем, и, следовательно, такой вид наблюдения требует хорошего качества изображения.

Для наблюдения с помощью подводной телевизионной камеры необходим достаточный уровень освещенности объекта и, кроме того, одним из важных мешающих подводному наблюдению факторов является низкая прозрачность воды из-за содержащихся в ней микроорганизмов и различных включений. Частицы ила и другие элементы, присутствующие в воде в виде взвеси, являются своего рода оптической помехой и ухудшают качество изображения. Для уменьшения действия такой помехи может быть использован признак её удалённости от точки съемки – мешающие объекты

находятся ближе к передающей камере, чем объект наблюдения. Это обстоятельство позволяет для улучшения качества изображения использовать так называемую активно-импульсную подсветку.

Технология активно-импульсной подсветки или активно-импульсного наблюдения известна давно, в России она была детально разработана Санкт-Петербургским ученым-физиком А. А. Лебедевым [1, 2], в результате чего появилась возможность извлекать значительно больше визуальной информации о наблюдаемых объектах путем анализа наблюдаемой сцены в 3D пространстве. Такая технология применялась и за рубежом [3].

Принцип наблюдения объекта с использованием активно-импульсной подсветки показан на рис. 1.

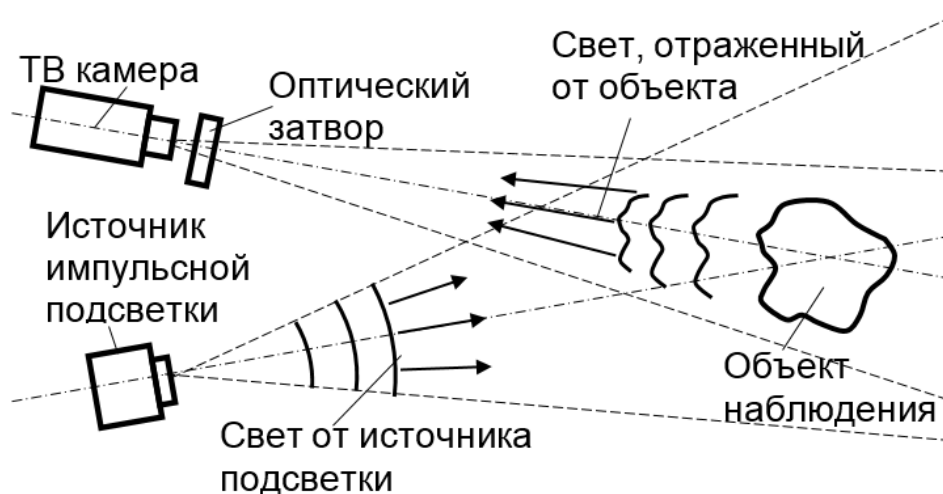


Рис. 1. Принцип работы активно-импульсной подсветки.

Объект наблюдения подсвечивается коротким световым импульсом с длительностью, соизмеримой со временем распространения света от источника подсветки до объекта. Оптический затвор в определенный момент времени открывает доступ светового потока, отраженного от объекта, к фотоприемнику телевизионной камеры. Время открытия оптического затвора синхронизировано с импульсом подсветки и выбрано из следующего условия: на фотоприемник телевизионной камеры должен попасть лишь тот световой поток, который прошел заданную оптическую длину пути «источник подсветки – объект – камера». Таким образом, объекты пространства, расположенные ближе или дальше наблюдаемого объекта и представляющие собой оптическую помеху, могут быть не видны на изображении, зафиксированном телевизионной камерой.

Большая часть используемых в настоящее время телевизионных камер, в том числе и для подводного видеонаблюдения, выполнена на основе полупроводниковых датчиков сигнала изображения, специфика работы которых предполагает наличие фаз накопления и переноса заряда. Эти процессы,



как правило, происходят с периодичностью, определяемой способом телевизионной развертки, поэтому зависимость чувствительности датчика изображения от времени в общем случае имеет характер, показанный на верхнем графике на рис. 2. На том же рисунке показан график следования импульсов подсветки, излучаемых за короткий промежуток времени перед завершением периода снижения чувствительности камеры. Интервал  $\Delta T$  необходим световому импульсу для преодоления расстояния от источника подсветки до освещаемого объекта и затем, после отражения от объекта, до фотоприемника телевизионной камеры. Сигнал изображения, вырабатываемый в телевизионной камере, показан на нижнем графике на рис. 2. Из схемы на рис. 1 и графиков на рис. 2 следует, что изображения объектов, расположенных ближе объекта наблюдения, не будут восприняты телевизионной камерой, т.к. отраженный от них свет поступит в фотодатчик в момент снижения чувствительности камеры. Изображения удаленных элементов передаваемой сцены не окажут значительного мешающего действия на изображение наблюдаемого объекта, т. к. расположены на заднем плане.

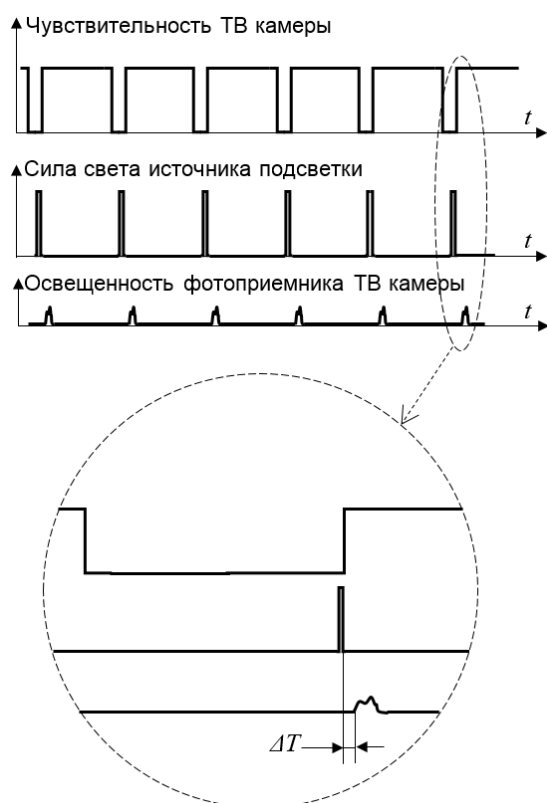


Рис. 2. Диаграммы работы активно-импульсной подсветки

Активно-импульсная подсветка является, по существу, разновидностью технологий работы с 3D изображениями, т. к., благодаря кратковременному импульсу подсветки, позволяет визуализировать только ту группу точек наблюдаемого объекта, которая оказалась подсвеченной, и отраженный от нее свет поступил на фотоприёмник ТВ камеры.

Синхронизируя работу источника импульсной подсветки и оптического затвора, можно добиться визуализации отдельных «слоёв» наблюдаемого объекта, что бывает необходимо для проведения ряда исследований.

С момента изобретения широкое применение активно-импульсной подсветки ограничивалось технической сложностью оборудования: использование лазера в качестве источника коротких световых импульсов

и специальных оптических затворов в виде, например, электронно-оптических преобразователей или ячеек Керра значительно снижало экономическую целесообразность этого метода. В настоящее время технология ак-

тивно-импульсной подсветки является удачным решением для передачи телевизионного изображения подводных объектов в силу следующих обстоятельств.

1. Телевизионная передача изображения подводных объектов, как правило, осуществляется с применением искусственного освещения, в качестве которого может быть использован источник импульсной подсветки.

2. Специфика работы современных полупроводниковых датчиков сигнала изображения, используемых в телевизионных камерах, предполагает наличие промежутков времени снижения чувствительности камеры, связанных с накоплением и переносом заряда в датчике. Такое снижение чувствительности необходимо для осуществления данной технологии и позволяет обойтись без специального оптического затвора.

3. Современные полупроводниковые источники света достаточно быстро совершенствуются по параметру инерционности. Эта величина в настоящее время составляет десятки наносекунд, и производители анонсируют еще лучшие величины. Это позволяет подавлять оптические помехи от объектов, находящихся на расстоянии нескольких метров от рассматриваемой области, и эта величина вполне соизмерима с размером возможной зоны наблюдения.

Предварительные эксперименты показали [4], что для эффективного применения описанного метода необходимы малоинерционные полупроводниковые источники света. Необходим также соответствующий выбор типа полупроводникового датчика сигнала изображения с кратковременным запирающим оптического канала после завершения стадии накопления заряда.

На основании изложенного можно сделать вывод о том, что применение технологии активно-импульсной подсветки с целью улучшения качества изображения при телевизионном наблюдении глубоководных объектов является перспективным направлением развития подводной телевизионной техники.

#### **Список используемых источников**

1. Дегтярёв П. А. Исследование и разработка устройств получения видеосигнала в активно-импульсной телевизионной системе наблюдения : дис. ... канд. тех. наук; 05.12.04 / Дегтярёв Павел Алексеевич. Томск, 2005.

2. Гейхман И. А., Волков В. Г. Основы улучшения видимости в сложных условиях. М.: ООО Недра-Бизнесцентр, 1999, 286 с.

3. Optical identification of sea-mines – Gated viewing three-dimensional laser radar. Ph.-D. Thesis by Jens Busck. Technical University of Denmark, 2005.

4. Александров А. М., Украинский О. В., Янов С. Н., Активно-импульсный телевизионный прибор. Пат. 155508 Российская Федерация; заявитель и патентообладатель ООО «Авиаинформатика». № 2015110294; заявл. 23.03.15; опубл. 16.09.15.

УДК 654.739

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ИСТОЧНИКОВ РАДИОИЗЛУЧЕНИЙ В УСЛОВИЯХ СЛОЖНОГО ОКРУЖЕНИЯ

**И. В. Александров, Б. М. Антипин, А. Д. Спириин**

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

*Рассматривается алгоритм определения местоположения источников радиоизлучений на основе измерений уровней сигнала, ориентированный на использование в условиях сложного окружения, характеризующегося наличием естественных преград и элементов городской застройки. Алгоритм реализован в программно-аппаратном комплексе мониторинга систем УКВ радиосвязи. Проведенные испытания комплекса показали возможность получения практически значимых результатов оценки местоположения источников радиоизлучения в реальных условиях, в том числе в окружении плотной городской застройки.*

*мониторинг спектра, определение местоположения, сложное окружение, программно-аппаратная обработка.*

### *Введение*

Необходимость более эффективного использования радиочастотного ресурса требует совершенствования методов и технических средств его мониторинга, в том числе и совершенствования средств определения координат местоположения радиопередатчиков – источников радиоизлучений (ИРИ), использующих ресурс. Несколько разработанных методов, основанных только на измерении уровней принимаемых излучений от ИРИ (энергетические методы), получили свое подтверждение в получении положительных решений в национальных патентах [1, 2].

Целью работы является модернизация алгоритма, основанного на известном энергетическом методе определения координат ИРИ [2], путем его оптимизации для использования в населенных пунктах и мегаполисах, в условиях сложного окружения, характеризующегося наличием многочисленных естественных преград и элементов застройки.

### *Постановка задачи*

Если за основу алгоритма определения координат ИРИ принять энергетический метод, то возникает проблема реализации данного алгоритма, которая могла бы успешно функционировать в реальных условиях эксплуатации. Теоретически метод основан на измерении уровней радиоизлучений

от ИРИ несколькими стационарными постами радиоконтроля (или несколькими измерениями мобильным комплексом при его движении), расположенными не на одной прямой, и дальнейшей обработки полученных значений. При этом вычисляется отношение уровней сигналов и составляются уравнения окружностей возможного положения ИРИ, с помощью которых вычисляются координаты его местоположения. В связи с этим актуальной задачей является модификация теоретического энергетического алгоритма определения местоположения ИРИ применительно к использованию в реальных условиях эксплуатации и создание программной реализации модифицированного алгоритма.

Общая постановка задачи может быть разбита на следующие этапы:

- Переход от аналитического метода решения системы уравнений к численным методам отыскания экстремумов функций.
- Разработка оптимального способа выбора мест измерения уровней сигналов от ИРИ, дающих максимальную информацию о его местоположении.
- Применение алгоритма обработки результатов измерения уровней в различных точках, устойчивого к флуктуациям сигналов от ИРИ.
- Разработка программной реализации алгоритма определения местоположения ИРИ, реализующей модифицированный энергетический метод.
- Проверка разработанного алгоритма в реальных условиях.

#### *Переход от аналитического метода к численному*

Из основного уравнения радиосвязи известно, что потери мощности при распространении радиоволн в свободном пространстве пропорциональны квадрату расстояний от источника радиоизлучений. Рассмотрим ситуацию, в которой имеется ИРИ в точке с координатами  $(x, y)$  и три измерительных комплекса, расположенных от него на расстояниях  $r_i$ ,  $i = 1..3$  и имеющие координаты  $(x_i, y_i)$ , как это показано на рисунке.

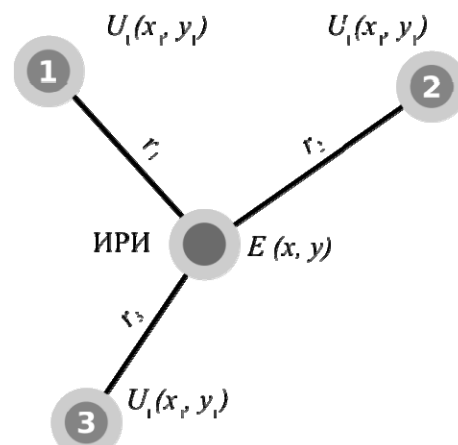


Рисунок. Схема расположения ИРИ и комплексов радиоконтроля

Пусть уровни напряжений, принимаемых от ИРИ комплексами, равняются  $U_i$ ,  $i = 1..3$ , которые, очевидно, связаны с уровнем излучения ИРИ  $E$  следующими соотношениями:

$$U_i = K \cdot \frac{E}{r_i^2}, \quad i = 1 \dots 3 \quad (1)$$

$$r_i^2 = (x - x_i)^2 + (y - y_i)^2,$$

где  $K$  – одинаковый коэффициент пропорциональности.

Тогда, с учётом (1) можно составить систему из трех уравнений, связывающих уровни принимаемых комплексами излучений и расстояниями от комплексов до ИРИ, а именно:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{r_2}{r_1}; \frac{U_1}{U_3} = \frac{r_3}{r_1}; \frac{U_3}{U_2} = \frac{r_2}{r_3}. \quad (2)$$

В [2] приводится решение данной системы, которое позволяет определить координаты местоположения источника радиоизлучений  $(x, y)$ , зная уровни принимаемых от него излучений. Однако в условиях сложного распространения радиоволн, характеризующегося многочисленными переотражениями от естественных преград и элементов застройки, аналитическое решение не всегда удается получить. В связи с этим предлагается перейти к алгоритму нахождения координат местоположения ИРИ, который минимизирует функцию:

$$F = \sum_1^3 F_i^2,$$

$$F_1 = \left( \frac{U_1}{U_2} - \frac{r_2}{r_1} \right),$$

$$F_2 = \left( \frac{U_1}{U_3} - \frac{r_3}{r_1} \right),$$

$$F_3 = \left( \frac{U_3}{U_2} - \frac{r_2}{r_3} \right). \quad (3)$$

Используя численные методы, можно найти расстояния от комплексов до ИРИ, минимизирующие функцию  $F$ , и, тем самым, будут найдены координаты местоположения источника.

### *Структура модифицированного алгоритма*

Переход только к численному решению системы уравнений (2) как задачи поиска экстремума функции (3) не позволяет в общем случае сделать алгоритм определения местоположения ИРИ эффективным и в то же время устойчивым к флуктуациям принимаемых сигналов. Поэтому дополнительно в него добавлены блоки пред- и постобработки измерений, реализующие:

1. Выбор из всего множества измерений  $\{U_n\}$  троек  $(U_1, U_2, U_3)$ , которые обеспечивают максимальную базу.

2. Расчет местоположения внутри каждой из выбранных троек путём поиска экстремума функции (3).

3. Сопоставление каждому рассчитанному местоположению ИРИ весового коэффициента, в зависимости от степени флуктуации измеренных значений напряжений.

4. Проведение цензурирования и усреднения.

Для отбора троек измерений используется алгоритм с оценкой расстояния между точками измерений.

Для оценки местоположения ИРИ по каждой тройке измерений, полученных после отбора, проводится поиск минимума функционала (3) численными методами.

Для обработки результатов оценки местоположения от всех троек используется алгоритм поиска центра масс с цензурированием. Определяются координаты центра масс:

$$\hat{x}_c = \frac{\sum_1^K m_i \cdot x_i}{\sum_1^K m_i}; \hat{y}_c = \frac{\sum_1^K m_i \cdot y_i}{\sum_1^K m_i},$$

где  $(x_i, y_i)$  – рассчитанные координаты местоположения ИРИ для  $i$ -ой тройки измерений;  $m_i$  – вес результата расчета, отражающий степень разброса значений измеренных напряжений внутри тройки.

Далее производится расчет набора расстояний от каждого рассчитанного местоположения ИРИ до центра и ранжирование данного набора по возрастанию расстояния.

Формируется новый набор местоположений ИРИ размера  $P$ , путем отсечения заданного процента по расстоянию до центра масс с конца вариационного ряда.

Окончательный результат формируется как среднее арифметическое нового Набора

$$x_c = \frac{\sum_1^P x_i}{P}; y_c = \frac{\sum_1^P y_i}{P}.$$

### *Результаты эксперимента*

Реализация алгоритма была проверена экспериментально с помощью переносимого приемного устройства и УКВ радиопередатчика. Проводилась серия экспериментов, в каждом из которых фиксировалось местоположение передатчика, после чего производился пеший обход предполагаемой зоны его нахождения. В процессе обхода фиксировался уровень сигнала и координаты точек измерений.

Проверка проводилась в плотной городской застройке, радиус поиска был принят 1,5 километра, с учетом мощности передатчика. В ходе эксперимента были получены следующие результаты:



- среднеквадратическая погрешность (СКП) – 313 метров;
- относительная СКП – 10,4 %.

### *Выводы*

Результаты испытаний разработанного модифицированного энергетического алгоритма показали его работоспособность и практическую эффективность в реальных условиях эксплуатации. Алгоритм и его программно-аппаратная реализация могут быть использованы для различных приложений организациями, занимающимися вопросами мониторинга радиочастотного ресурса, в том числе и анализом электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств [3, 4].

Дальнейшая доработка алгоритма целесообразна путем добавления отдельных функций, обеспечивающих возможность его использования при определении местоположения ИРИ перспективных систем радиосвязи.

### **Список используемых источников**

1. Логинов Ю. И., Екимов О. Б., Антипин Б. М., Портнаго Л. Б. Мультипликативный разностно-относительный способ определения координат местоположения источника импульсного радиоизлучения. Пат. 2558640 Российская Федерация; 2013138909/07; заявл. 20.08.2013; опубл. 10.08.2015. Бюл. № 22.
2. Логинов Ю. И., Екимов О. Б., Антипин Б. М., Гриценко А. А., Портнаго Л. Б. Разностно-энергетический способ определения координат местоположения источников радиоизлучения. Пат. 2505835 Российская Федерация; 2012115382/07; заявл. 17.04.2012; опубл. 27.01.2014. Бюл. № 3.
3. Антипин Б. М., Виноградов Е. М. Алгоритм оценки электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств // Известия высших учебных заведений России. Радиоэлектроника. 2013. Т. 1. С. 102–110.
4. Антипин Б. М., Виноградов Е. М. Оценка электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств по результатам радиоконтроля // Известия высших учебных заведений России. Радиоэлектроника. 2012. № 6. С. 97–104.

**УДК 621.31**

## **СТЕНД ИССЛЕДОВАНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ БАТАРЕЙНЫХ ИСТОЧНИКОВ**

**А. С. Алимбаев, В. С. Усс, П. П. Шумаков**

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

*Реализован стенд и алгоритм длительной проверки аккумуляторных батарей и ионистров. Произведены тестовые испытания.*

*NI USB 6001, LabVIEW, ионистры, тестирование аккумуляторов.*

Как известно литий-ионные аккумуляторы имеют ограниченное количество циклов заряда и разряда для заявленной емкости. Причем количество циклов сильно зависит от производителя этих батарей. Поэтому для некоторых задач является актуальным определение более точных параметров их эксплуатационных характеристик.

В результате работы был разработан стенд для анализа и исследования эволюции во времени характеристик аккумуляторов.

За основу были взяты батареи со следующими паспортными характеристиками:

- емкость: 5000 фарад;
- ток разряда: до 10 ампер;
- количество циклов заряда и разряда: 25 тыс.

что соответствует примерно 10 годам непрерывной работы, без деградации емкости.

Требовалось создать стенд для длительного тестирования элементов питания. Батареи должны были работать в режиме заряда и разряда. Также в ходе работы было решено использовать таймер задержки при переходе элементов из одного режима в другой. Таким образом режимы работы максимально приближены к реальным условиям эксплуатации.

Программа управления была реализована на программном обеспечении NI LabVIEW 2015, дополнительно установлены драйвера NI DAQ и NI ELVIS для контроля точности измерений.

Для управления и сбора данных было выбрано устройство компании National Instruments USB-6001 [1] которое обладает основными функциональными возможностями по сбору данных и проведения измерения для научных и лабораторных экспериментов. Блок NI USB-6001 программируется благодаря программному обеспечению National Instruments LabVIEW. Встроенные Express инструменты позволяют легко настроить блок для работы в режиме реального времени. Блок NI USB 6001 имеет 8 аналоговых входов (14-бит, 20 кС/с) и 2 аналоговых выходов (14-бит, 5 кС/с/канал); 13 цифровых линий и разрядность счетчика до 32 бит

Корпус стенда выполнен из противопожарного материала, так как при выполнении длительных тестов особо важным параметром является пожаробезопасность. Применяются металлизированные пружинные контакты для удобной и быстрой смены тестируемых элементов.

Так как количество управляющих каналов ограничено, было решено мультиплексировать их благодаря вводу в систему релейных переключателей.

На рис. 1 показана структурная схема подключения испытательного стенда [3]. Основным элементом является персональный компьютер с уста-

новленным пакетом LabVIEW 2015 и программа управления и сбора данных [2]. Блок управления USB-6001 отвечает за переключение каналов и регистрацию показателей. Плата переключения каналов меняет режим на элементах с заряда на разряд в противоположном режиме, когда идет заряд на первом элементе второй разряжается. Для заряда используется лабораторный источник питания с выходным током до 10 А, и напряжением до 30 В. Нагрузка состоит из параллельно подключенных электрических лампочек высокой мощности. Стенд рассчитан для параллельного испытания двух аккумуляторов, но также имеет режим подключения одного испытуемого элемента.

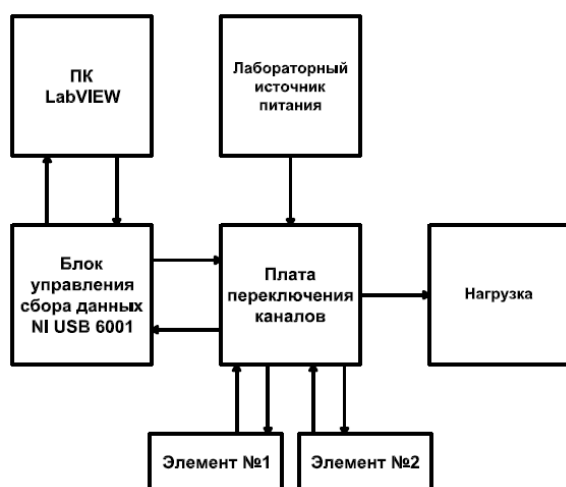


Рис. 1. Блок схема испытательного стенда

для предотвращения перегрева элементов. При превышении заданного значения производится включение кулеров для охлаждения.

Программа состоит из нескольких частей, независимо работающих модулей. Изначально оператору нужно выставить параметры на лабораторном блоке и выставить номинал нагрузки на самом стенде (рис. 2).

Далее эти параметры записываются в программу, и выставляется количество циклов заряда и разряда. Ниже устанавливается требуемая задержка после заряда и разряда в секундах. Статистическим расчетом производится прогноз времени завершения испытаний после подсчета времени первого цикла. На средней части интерфейса стрелочные индикаторы показывают текущее

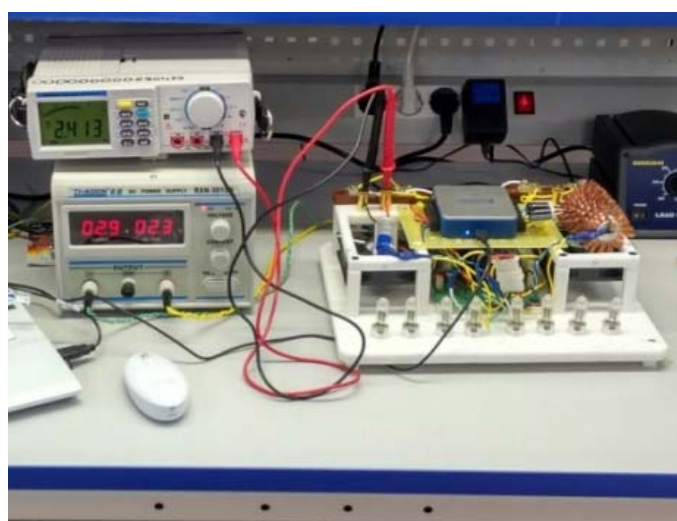


Рис. 2. Внешний вид испытательного стенда

значение напряжение и тока, температура показана столбиком термометра (рис. 3). Емкость элементов рассчитывается сразу в нескольких видах измерений, таких как ампер/час, ватт/час и в фарадах. Алгоритм отвечающий за расчет емкости производит перемножение напряжения и тока затем складывает с предыдущим значением, тем самым накапливая общий объем емкости. Накопление результата происходит благодаря встроенной функции обратной связи. Точность измерения параметров напрямую зависит от величины интервала времени между выборкой значений первичных измерений. Также в программе реализована защита от перегрузки и превышения допустимого порога температуры, которое предохраняет элементы от перегрева, так как при предельных значениях нагрузки температура элемента может достигнуть критического значения и вывести из строя элемент питания. При превышении температуры элемента более 50 градусов по шкале Цельсия автоматический включается вентиляторы охлаждения, а ПК выдает звуковой сигнал, громкость и тональность которого устанавливается в нижней части интерфейса программы.

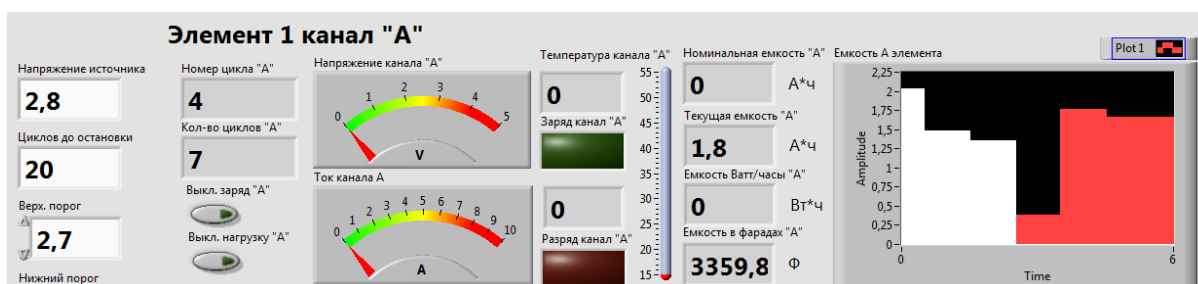


Рис. 3. Интерфейс программы контроля заряда и разряда двух элементов

Стенд рассчитан на непрерывное тестирование в течении нескольких месяцев. Для проверки достоверности результатов производилось сопоставление полученных данных с номиналом высококачественных аккумуляторных батарей. Результаты, полученные с помощью этого испытательного стенда, подтвердили, что в тестируемых элементах питания имеет место деградация емкости заряда в течение некоторого короткого промежутка времени. Общая емкость составила около 3300 фарад и убывала с каждым циклом заряда и разряда на 7 % от предыдущего значения.

#### Список используемых источников

1. <http://www.ni.com/pdf/manuals/374369a.pdf> freeaccess mode from the screen.
2. Belov N. V., Cheremuhin V. E., Zhmatov D. V. and Gorkin V. P. Data Management System for Li-Ion Battery Monitoring // International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON–2015). Proceedings. – Omsk: The Tomsk IEEE Chapter & Student Branch. Russia, Omsk, May 21–23, 2015. pp. 484–485. ISBN: 978-1-4799-7103-9. DOI: 10.1109/SIBCON.2015.7147319.

3. Mizrakh E. A., Shtabel N. V., Balakirev R. V. Automated data acquisition system for lithium-ion accumulators test bench / International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON–2015). Proceedings. – Omsk: The Tomsk IEEE Chapter & Student Branch. Russia, Omsk, May 21–23, 2015. pp. 524–525.

УДК 621.396.93

## ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕЛИЦЕНЗИОННОГО РАДИОЧАСТОТНОГО СПЕКТРА В ГЕТЕРОГЕННЫХ СЕТЯХ СТАНДАРТА LTE

**Х. А. Аль-Амери, А. Н. Степутин**

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

*Построение гетерогенной сети позволяет увеличить пропускную способность сети и расширить зону ее покрытия. Однако абонентская нагрузка в гетерогенных сетях LTE распределена по зоне обслуживания сети неравномерно. Существующие механизмы балансировки нагрузки, описанные в спецификациях 3GPP, не решают данную проблему в полной мере. В статье рассматриваются механизмы балансировки нагрузки в мультисервисных гетерогенных сетях стандарта LTE путем использования нелицензионного радиочастотного спектра.*

*LTE-U, балансировка нагрузки, нелицензионный спектр, Wi-Fi, LAA, LWA, LBT.*

Объем трафика, передаваемого по мобильным сетям, будет продолжать расти. По оценке компании Nokia, к 2020 г. годовой объем мобильного трафика данных составит 366,6 эксабайт, т. е. в 8 раз больше всего мирового мобильного трафика за 2015 г. [1]. С целью повышения пропускной способности сетей мобильной связи специфицирован ряд технологических решений использования нелицензионного спектра, что позволяет получить дополнительный радиочастотный ресурс [2].

### *Использования нелицензионного спектра в диапазоне 5 ГГц*

В рамках всемирной конференции радиосвязи 2003 г. (WRC-03) были идентифицированы полосы частот 5150–5350 МГц и 5470–5725 МГц на первичной основе для систем беспроводного доступа WAS (*Wireless Access Systems*), включая локальные радиосети RLAN (*Radio Local Area Networks*) (рис. 1).

В соответствии с вышеуказанными условиями, для полос частот 5150–5350 МГц и 5470–5725 МГц были дополнительно введены такие механизмы

смягчения конфликтов, как динамический выбор частоты DFS (*Dynamic Frequency Selection*) и автоматическая регулировка мощности TPC (*Transmitter Power Control*).

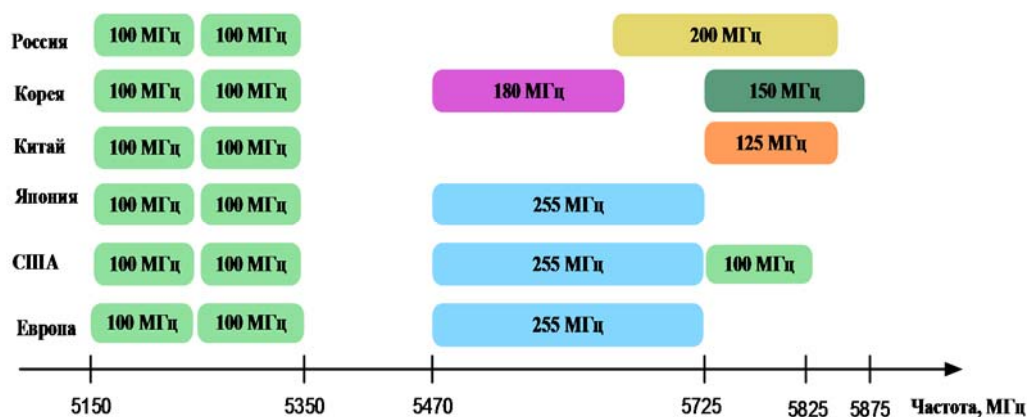


Рис. 1. Нелицензионный спектр в диапазоне 5 ГГц в разных странах [1]

В таблице 1 приводятся условия использования вышеназванных полос, озвученные в рамках ВКР-12 [2, 3].

ТАБЛИЦА 1. Условия использования нелицензионного спектра в диапазоне 5 ГГц

Полосы, МГц	Макс. ЭИИМ, мВт	Макс. спектр. плотность ЭИИМ, мВт/МГц	Расположение	Дополнительные требования
5150–5250	200	10	Внутри помещений	–
5250–5350	1000	50	Не ограничено	Автоматическое управление мощностью передатчика
5470–5725*	1000	50	Не ограничено	Макс. мощности передатчика $\leq 230$ мВт
5725–5875	25	–	Внутри помещений	Динамический выбор частот DFS

\* Использование полосы 5850–5925 МГц для мобильного сервиса ограничено применением специализированных устройств коммуникации малого радиуса действия SRD (*Software Defined Radios*).

### Требования 3GPP к механизму LBT

В таблице 2 представлены европейские технические требования к процедуре прослушивания канала перед излучением LBT (*Listen Before Talk*) для базовой временной структуры фрейма.

ТАБЛИЦА 2. Требования 3GPP к механизму LBT

Параметры	Требования	Примечание
Время оценки (поиска) свободного канала (ССА)	Минимум 20 мкс	
Время занятия канала	Минимум 1 мс, максимум 10 мс	
Период ожидания	Минимум 5 % от времени занятия канала	
Фиксированный временной фрейм	Время занятия канала $t_{взк}$ + Период ожидания	
Время передачи коротких управляющих сигналов	Максимальный рабочий цикл 5 % в пределах периода наблюдения 50 мс	Часть $t_{взк}$
Порог обнаружения ССА	$\leq -73$ дБм/МГц (при ЭИИМ = 23 дБм) = $-73$ дБм/МГц + 23 дБм – РН (дБм) (при других значениях ЭИИМ, РН)	Для WAS/RLAN. При $K_{пр.ан.}$ 0 дБи

$K_{пр.ан.}$  – коэффициент приемной антенны

### Стандартизованные решения

В качестве частных определений стандартизованных решений для использования нелицензируемого спектра в данной статье рассматриваются три решения: LAA (*Licensed Assisted Access*), LTE-U (*LTE-Unlicensed*) и LWA (*LTE & WLAN Aggregation*). Ниже приведено их краткое описание.

**LAA.** Эта технология является базовой в стандартах 3GPP (Rel.13) и претендует на статус глобального решения в исследуемой области. Она предполагает агрегацию несущих частотного спектра в нелицензируемом диапазоне 5 ГГц по средством его присоединения к основному лицензионному спектру LTE. При этом агрегация несущих частот CA (*carrier aggregation*) использует лицензионную полосу частот в качестве первичной соты PCell (*primary cell*) и нелицензионную полосу частот частот в качестве вторичной соты SCell (*secondary cell*), как показано на рис. 2.

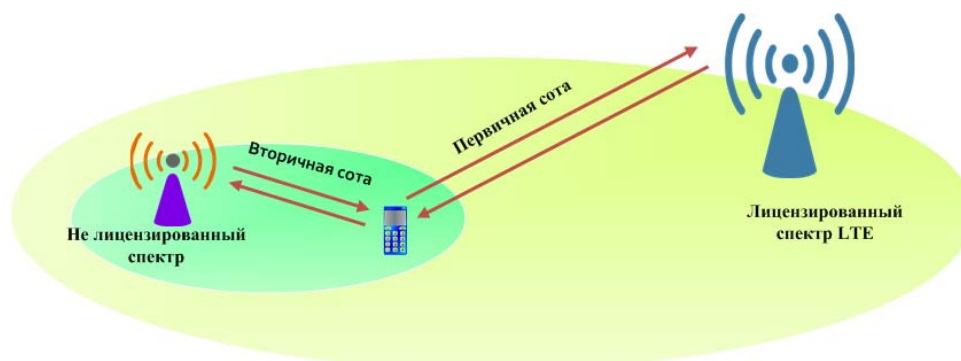


Рис. 2. Принцип LAA

Технология LAA основана на оптимальном взаимодействии с устройствами других технологий, которые используют нелицензионный спектр,



в том числе – Wi-Fi. В качестве разрешения конфликтов задействован механизм LBT, что является основным требованием в странах Евросоюза и в Японии. Сценарии LAA, рассматриваемые в 3GPP, приведены в таблице 3 [2].

ТАБЛИЦА 3. Сценарии LAA-LTE

Сценарии	Агрегирование	Примечание
Сценарий 1	Лицензионная F1 (макросота) и нелицензионная F3 (малая сота)	Несовмещенное размещение
Сценарий 2	Лицензионная F2 (малая сота) и нелицензионная F3 (малая сота)	Без покрытия макросоты (совмещенное размещение)
Сценарий 3	Лицензионная F1 (макросота и малая сота) и нелицензионная F3 (малая сота)	Несовмещенное размещение с макросотой, совмещенное размещение Small Cell
Сценарий 4	Лицензионная F2 (малая сота) и нелицензионная F3 (малая сота)	С покрытием макросоты

Необходимо подчеркнуть, что для использования LAA требуются новые абонентские устройства LTE, способные работать в нелицензионном спектре и имеющие механизмы бесконфликтного разделения этого спектра между пользователями.

**LTE-U.** В перечне документов LTE-U Forum [5] отмечается, что LTE в нелицензионном спектре оказывает существенное влияние на действующий Wi-Fi, если не применять механизмы совместимости этих технологий. Следует отметить, что LTE-U не требует применения механизма LBT. Механизмом, который используется в LTE-U для снижения конфликтных ситуаций, является процедура, устанавливающая рабочий цикл (*Duty Cycle*) для прерывистой передачи.

**LWA.** Технология LWA заключается в агрегации несущей LTE в лицензируемом диапазоне и несущей Wi-Fi в не лицензируемом диапазоне 5 ГГц на уровне сетей радиодоступа, где базовая станция LTE распределяет пакеты данных для передачи через каждую сеть. На рис. 3 поясняется его основной принцип [3].

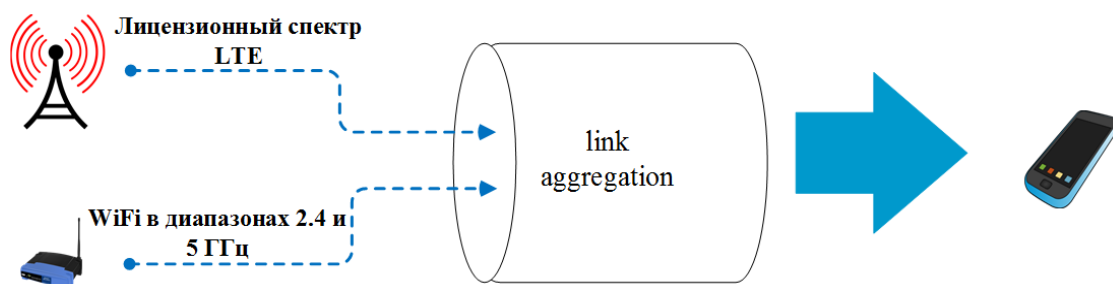


Рис. 3. Принцип LWA

Главное преимущество LWA состоит в отсутствии требований глобальных изменений существующего оборудования: достаточно обновления ПО и установки новых точек доступа Wi-Fi (при необходимости). В рамках 3GPP рассматривают два сценария реализации технологии LWA: совмещенное и несовмещенное размещение.

#### *Сравнительный анализ методов балансировки нагрузки*

В таблице 4 приведен сравнительный анализ трех решений (LAA, LTE-U и LWA) для распределения трафика между базовыми станциями гетерогенной сети стандарта LTE [4].

ТАБЛИЦА 4. Сравнительный анализ LAA, LTE-U и LAA

Критерии эффективности методов	LWA	LTE-U	LAA
Полное название	LTE WLAN Aggregation	LTE Unlicensed	License Assisted Access
Группа стандартизации	3GPP	LTE-U Forum	3GPP
Технические спецификации	Rel.13	–	Rel.13
Механизм совместимости	CSMA	CSAT	LBT
Протокольный уровень	LTE L2 (PDCP)	LTE L2 (MAC)	LTE L2 (MAC)
Новые аппаратные средства	–	UE и eNB с поддержкой 5 ГГц	
Тип передачи	Только линия вниз		
Затраты на реализацию метода	Средние	Высокие	
Сложность реализации	Простая (ПО)	Сложная (аппаратные средства)	

CSMA (*Carrier Sense Multiple Access*) – многостанционный доступ с контролем несущей.

CSAT (*Carrier Sense Adaptive Transmission*) – адаптивная передача с контролем несущей.

PDCP (*Packet Data Convergence Protocol*) – протокол конвергенции пакетных данных.

Сравнительный анализ методов балансировки нагрузки позволяет сделать следующие выводы.

1. Технология LAA основана на наиболее оптимальном взаимодействии с устройствами других технологий, которые используют нелицензионный спектр, в том числе – Wi-Fi. LAA требует аппаратных изменений и, как следствие, высоких финансовых затрат, связанных с ее реализацией.

2. Для реализации технологии LWA не требуются глобальных изменений существующего оборудования: достаточно обновления ПО и установки новых точек доступа Wi-Fi (при необходимости).

**Список используемых источников**

1. Quang-Dung, Ho Daniel Tweed and Tho Le-Ngoc. Long term evolution in unlicensed bands. McGill University, Montreal, Canada, 2017. 65 p.
2. Mukherjee A. System architecture and coexistence evaluation of licensed assisted access LTE with IEEE 802.11 // IEEE International Conference on Communication Workshop (ICCW), London, 2015, pp. 2350–2355.
3. Скрынников В. Использование нелицензионного радиочастотного спектра в сетях LTE // Технологии и средства связи «Гротек». 2016. № 1. С. 42–48.
4. 3GPP TR 36.889 v13.0.0 (2015-06). Technical Specification Group Radio Access Network; Study on Licensed Assisted Access to Unlicensed Spectrum. – Technical Report (Release 13). 2015.
5. Степутин А. Н., Ромашенков Н. О., Фокин Г. А. Разгрузка сетей LTE через сети Wi-Fi // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2015. Т. 15. № 6. С. 1139–1146.

УДК 621.396.969.11

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО ФАКТОРА СНИЖЕНИЯ ТОЧНОСТИ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ В РАЗНОСТНО-ДАЛЬНОМЕРНОМ МЕТОДЕ

**А. Х. Аль-Одхари**

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

*Геометрическое расположение пунктов приема и источника радиоизлучения оказывают влияние на точность позиционирования. Наиболее общим параметром, используемым для оценки влияния геометрии взаимного расположения на точность позиционирования источника радиоизлучения, является геометрический фактор снижения точности GDOP – Geometric Dilution of Precision.*

*В настоящей работе выполнена оценка влияния геометрического распределения пунктов приема и источника радиоизлучения на точность позиционирования.*

*разностно-дальномерный метод, геометрический фактор снижения точности, алгоритм Гаусса-Ньютона, определение местоположения, источник радиоизлучения.*

Для определения координат источника радиоизлучения (ИРИ) широко применяется разностно-дальномерный метод (РДМ). Погрешность определения координат источника радиоизлучения РДМ зависит от точности определения временных задержек прихода сигнала на пунктах приема. В работах [1, 2, 3, 4] выполнена оценка точности позиционирования источника радиоизлучения традиционным разностно-дальномерным методом. Оценка

точности позиционирования в условиях неоднородного рельефа с использованием беспилотных летательных аппаратов выполнена в [5].

При построении рабочей зоны позиционирования вводят понятие геометрического фактора системы, связывающего точность местоопределения ИРИ с взаимным расположением пунктов приема и источника радиоизлучения. В настоящей работе выполнено исследование влияния геометрического распределения пунктов приема и источника радиоизлучения на точность позиционирования для случаев с 4 и 6 пунктов приема.

### *Модель измерений разностно-дальномерного метода*

Одним из эффективных методов определения координат источника радиоизлучения является разностно-дальномерный метод (*Time Difference of Arrival – TDOA*) [6].

Пусть местоположению ИРИ соответствует вектор координат  $\mathbf{x} = [x \ y]^T$ . Тогда расстояние от ИРИ до  $j$ -го пункта приема с координатами  $\mathbf{x}_j = [x_j \ y_j]^T$  определяется следующим образом:

$$d_j = \sqrt{(x - x_j)^2 + (y - y_j)^2}, \quad j = 1, 2, \dots, M.$$

Линии постоянной разности рассчитывают относительно одного пункта приема, называемого опорным, например, первого пункта приема, тогда можно записать следующие выражения для разностей прихода сигналов:

$$d_{j,1} = d_j - d_1, \quad j = 2 \dots M.$$

На практике первичные измерения разницы дальностей подвержены АБГШ  $n_j$ . С учетом ошибки измерения линий постоянной разности  $r_j$  определяются следующим выражением:

$$r_j = d_{j,1} + n_j. \quad (1)$$

Для получения оценки вектора  $\tilde{\mathbf{x}}$  необходимо решить систему нелинейных уравнений (1) относительно неизвестных координат источника, которую можно записать в векторном виде следующим образом [7]:

$$\mathbf{r} = \mathbf{d}_1(\mathbf{x}) + \mathbf{n}, \quad (2)$$

где

$$\mathbf{r} = [r_2, r_3, \dots, r_M]^T,$$

$$\mathbf{n} = [n_2, n_3, \dots, n_M]^T,$$

$$\mathbf{d}_1(x) = \begin{bmatrix} \sqrt{(x-x_2)^2 + (y-y_2)^2} - \sqrt{(x-x_1)^2 + (y-y_1)^2} \\ \sqrt{(x-x_3)^2 + (y-y_3)^2} - \sqrt{(x-x_1)^2 + (y-y_1)^2} \\ \vdots \\ \sqrt{(x-x_M)^2 + (y-y_M)^2} - \sqrt{(x-x_1)^2 + (y-y_1)^2} \end{bmatrix}.$$

Для нахождения координат источника радиоизлучения требуется решить систему нелинейных уравнений (2). Воспользуемся методом Гаусса-Ньютона, как одним из наиболее эффективных и быстро сходящихся [8].

Алгоритм Гаусса-Ньютона работает по принципу минимизации целевой функции и определяется по выражению [9]

$$\tilde{\mathbf{x}} = \mathbf{x}^{(0)} + \left( \mathbf{H}^T \mathbf{H} \right)^{-1} \mathbf{H}(\mathbf{r} - \mathbf{d}_1(\mathbf{x}^{(0)})), \quad (3)$$

где

$$\mathbf{H} = \begin{bmatrix} \frac{x-x_2}{d_2} - \frac{x-x_1}{d_1} & \frac{y-y_2}{d_2} - \frac{y-y_1}{d_1} \\ \frac{x-x_3}{d_3} - \frac{x-x_1}{d_1} & \frac{y-y_3}{d_3} - \frac{y-y_1}{d_1} \\ \vdots & \vdots \\ \frac{x-x_M}{d_M} - \frac{x-x_1}{d_1} & \frac{y-y_M}{d_M} - \frac{y-y_1}{d_1} \end{bmatrix}.$$

Уравнения (3) позволяют оценить вектор координат ИРИ при наличии начального приближения и  $N - 1$  измерений разностей дальностей от  $N$  пунктов приема до ИРИ.

В общем случае коэффициент геометрии определения местоположения ИРИ разностно-дальномерным методом имеет вид [10]6

$$\text{GDOP} = \frac{\sqrt{\text{trCov}(\delta_{\mathbf{x}})}}{\sigma_R} = \sqrt{\text{tr}(\mathbf{H}^T \mathbf{H})^{-1}}.$$

Таким образом, коэффициент геометрии представляет собой число, определяющее, во сколько раз ошибка определения местоположения больше ошибки определения разностей дальностей в зависимости от геометрического расположения пунктов приема, определяемой матрицей  $\mathbf{H}$ .

### Результаты моделирования

На основе предыдущих формул были проведены расчеты распределения коэффициента GDOP для случаев с 4 и 6 пунктами приема. Результаты представлены на рис. 1, 2.

На рис. 1 представлено распределение геометрического фактора снижения точности позиционирования для случая 4 пунктов приема. Из рисунка видно, что коэффициент GDOP является наименьшим, когда ИРИ находится в центре, между пунктами приема где составляет 0,99 и быстро возрастает, если ИРИ перемещается из центра. В [11] показано, что мини-

мальный коэффициент геометрии для разностно-дальномерного метода равен  $2/\sqrt{M}$  и  $3/\sqrt{M}$  ( $M$  – количество пунктов приема) в двумерном и трёхмерном пространстве соответственно.

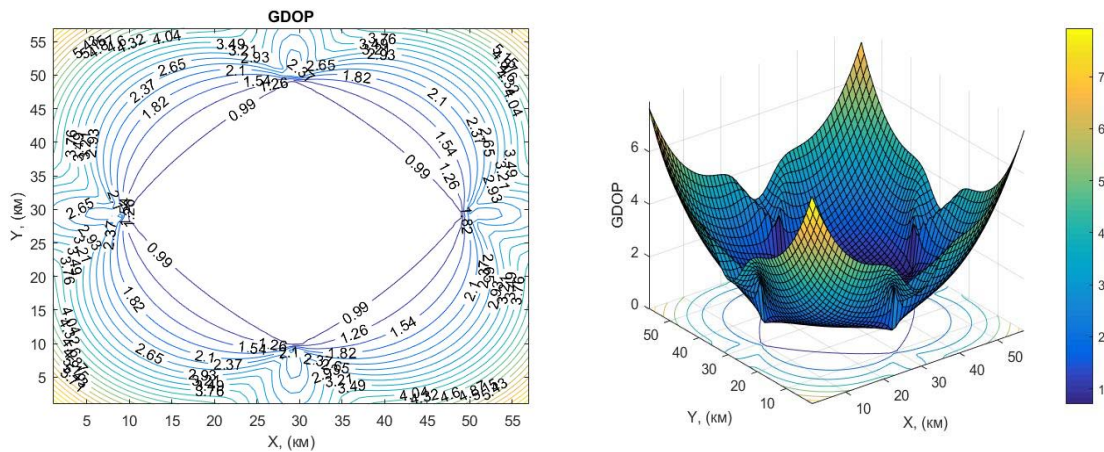


Рис. 1. Распределение коэффициента GDOP для 4 пунктов приема

На рис. 2 представлено распределение геометрического фактора снижения точности позиционирования для 6 пунктов приема; минимальное значение коэффициента составляет 0,87.

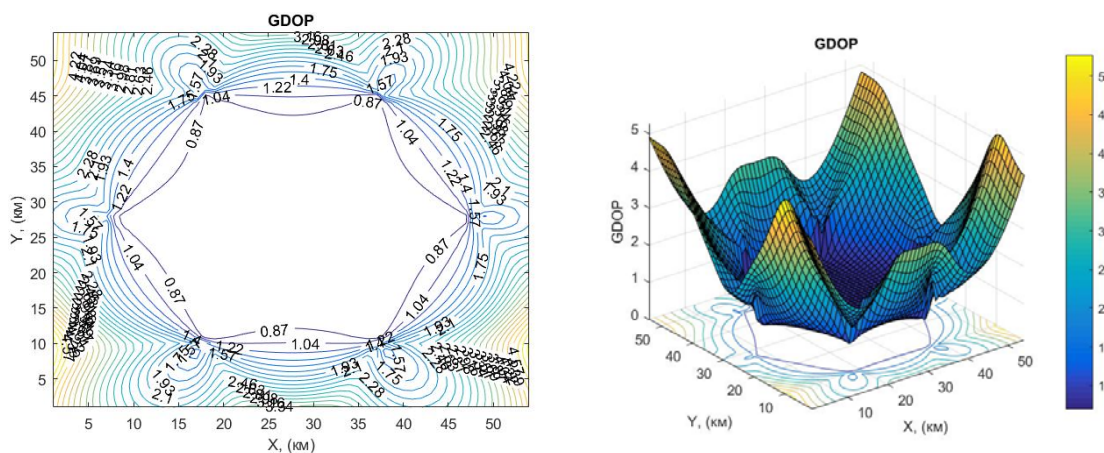


Рис. 2. Распределение коэффициента геометрии для 6 пунктов приема

Из анализа указанных рисунков следует, что имеется явная зависимость между расположением пунктов приема и ИРИ распределением геометрического фактора. На рис. 3 предоставлен график сравнения GDOP для 4 и 6 пунктов приема откуда видно, что на расстоянии 16 км от центра GDOP для 4 пункта приема больше чем для 6 пунктов приема, что приводит к ухудшению точности позиционирования.

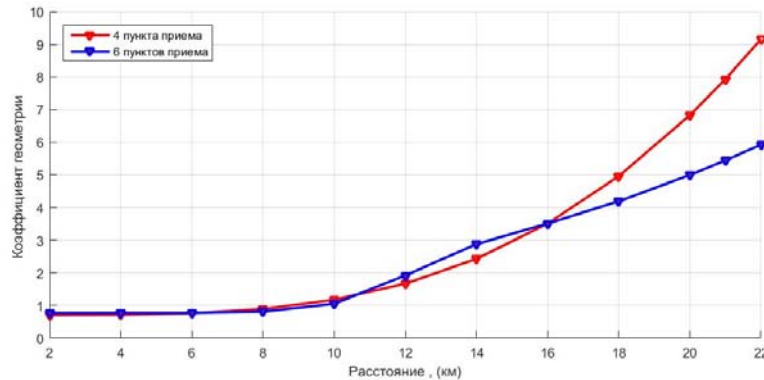


Рис. 3. Зависимость коэффициента геометрии от расстояния для 4 и 6 пунктов приема

### Список используемых источников

1. Sivers M., Fokin G. LTE positioning accuracy performance evaluation // Lecture Notes in Computer Science. 2015. Т. 9247. pp. 393–406.
2. Фокин Г. А. Оценка точности позиционирования абонентских станций в сетях LTE разностно-дальномерным методом // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. IV Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сб. науч. ст. в 2 томах. 2015. Т. 1. С. 170–173.
3. Киреев А. В., Фокин Г. А. Позиционирование объектов в сетях LTE посредством измерения времени прохождения сигналов // Труды учебных заведений связи. 2016. Т. 2. № 1. С. 68–72.
4. Сиверс М. А., Фокин Г. А., Духовницкий О. Г. Оценка возможностей метода разностно-дальномерного метода позиционирования абонентских станций в системах мобильной связи LTE средствами имитационного моделирования // Информационные технологии моделирования и управления. 2016. Т. 98. № 2. С. 149–160.
5. Аль-Одхари А. Х., Фокин Г. А. Локализация объектов в условиях неоднородного рельефа с использованием беспилотных летательных аппаратов // Наука и инновации в технических университетах: материалы Десятого Всероссийского форума студентов, аспирантов и молодых ученых. 2016. С. 7–9.
6. Сиверс М. А., Фокин Г. А., Духовницкий О. Г. Позиционирование абонентских станций в сетях мобильной связи LTE разностно-дальномерным методом // Системы управления и информационные технологии. 2015. Т. 59. № 1. С. 55–61.
7. Zakavat S. A, Buehrer R. M. Handbook of position location: Theory, Practice, and Advances // Wiley-IEEE. 2011. 1281 p. ISBN 978-0-470-94342-7.
8. Ортега Д., Рейнболдт В. Итерационные методы решения нелинейных систем уравнений со многими неизвестными. М.: Мир, 1975. 558 с.
9. Серапинас Б. Б. Глобальные системы позиционирования. М.: ИКФ «Каталог», 2002. 106 с.
10. Семенюк С. С., Уткин В. В., Бердинских Л. Н. Геометрический фактор разностно-дальномерной сети датчиков в пространстве // наукоёмкие технологии. 2012. Т. 13. № 8. С. 66–73.
11. Lee H. B. Accuracy Limitations of Hyperbolic Multi-lateration Systems // IEEE Transactions on Aerospace and Electronic System. 1975. Vol. AES-11, № 1. pp. 16–29.

*Статья представлена научным руководителем, кандидатом технических наук, доцентом Г. А. Фокиным.*



УДК 621.396.9

## ТЕХНОЛОГИЯ NB-IoT В СЕТЯХ LTE

**Х. А. М. Аль-Осаими, А. В. Богачев, А. Е. Рыжков**

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

*Рассмотрены основные характеристики физического уровня нового стандарта беспроводного Интернета вещей NB-IoT. Приведены диапазоны рабочих частот. Представлена структура каналов трафика на радиointерфейсе, рассмотрены их параметры, форматы передачи транспортных информационных блоков вниз и вверх.*

*NB-IoT, LTE, каналный ресурс, формат передачи, ресурсная единица.*

Технология узкополосного беспроводного Интернета вещей NB-IoT на основе стандарта LTE специфицирована в 2016 г. в последних выпусках Rel.13. Появление этой технологии открывает широкие возможности для реализации беспроводного доступа в сетях IoT с выходом на всемирную пакетную сеть LTE. Первые обзоры по данной теме появились в конце 2016 г. [1, 2]. Материалы данного доклада основаны на спецификациях E-UTRA Rel.14.0; 14.1, опубликованных в декабре 2016 – январе 2017 гг.

Устройства NB-IoT работают в полосе 180 (200) кГц, что потребовало серьезных изменений на физическом уровне в сравнении с классическими сетями LTE с шириной полосы 1,4–20 МГц. Прежде всего, это относится к передаче синхронизирующих сигналов, каналу передачи системной информации, запросам на доступ к сети, поскольку эти сигналы и каналы в LTE занимают полосу в 1,4 МГц.

Технологию NB-IoT предполагают реализовывать в сетях с частотным дуплексом в диапазонах, приведенных в табл. 1 [3]. Выделяемый каналный ресурс состоит из отдельных ресурсных блоков (РБ) с эффективной полосой приема 180 кГц в каждом.

Передача трафика идет в режиме полудуплекса. Мобильный терминал UE, находящийся в активном состоянии, либо принимает трафик, либо его передает.

При *передаче вниз* на физическом уровне NB-IoT определены каналы:

– передачи данных NPDSCH – Narrowband Physical Downlink Shared Channel,

– управления NPDCCH – Narrowband Physical Downlink Shared Channel,

– передачи системной информации NPBSCH – Narrowband Physical Broadcast Channel,

и два сигнала синхронизации: первичный NPSS и вторичный NSSS.

ТАБЛИЦА 1. Диапазоны частот для NB-IoT

Номер диапазона	Частоты передачи вверх, МГц	Частоты передачи вниз, МГц
	$F \uparrow_{\text{мин}} - F \uparrow_{\text{макс}}$	$F \downarrow_{\text{мин}} - F \downarrow_{\text{макс}}$
1	1920 – 1980	2110 – 2170
2	1850 – 1910	1930 – 1990
3	1710 – 1785	1805 – 1880
5	824 – 849	869 – 894
8	880 – 915	925 – 960
11	1427,9 – 1447,9	1475,9 – 1495,9
12	699 – 716	729 – 746
13	777 – 787	746 – 756
17	704 – 716	734 – 746
18	815 – 830	860 – 875
19	830 – 845	875 – 890
20	832 – 862	791 – 821
25	1850 – 1915	1930 – 1995
26	814 – 849	859 – 894
28	703 – 748	758 – 803
31	452,5 – 457,5	462,5 – 467,5
66	1710 – 1780	2110 – 2200
70	1695 – 1710	1995 – 2020

Структура кадра LTE сохраняется. Кадр длительностью 10 мс состоит из 10 субкадров по 1 мс, каждый субкадр – из двух слотов по 0,5 мс. Канальный ресурс выделяют на РБ, где, как и в стандартной технологии LTE, в полосе 180 кГц передача идет на 12 поднесущих с разносом между частотами 15 кГц. Во временной области в каждом слоте передают 7 OFDM-символов (14 в РБ). Распределение каналов по субкадрам при передаче вниз показано на рис. 1.

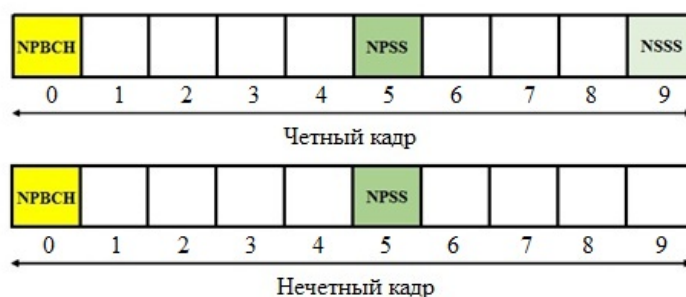


Рис. 1. Выделение канального ресурса для NB-IoT

Каждый кадр начинается передачей канала NPBSCH, который занимает нулевой субкадр. В каждом 5-м субкадре передают сигнал NPSS, а в последнем субкадре каждого четного кадра – сигнал NSSS. В оставшихся свободных субкадрах размещают каналы NPDSCH или NPDCCH.

Базовая станция в сетях NB-IoT может работать с одной или двумя антеннами (антенные порты R2000 и R2001). Через эти порты передают специфичные для NB-IoT опорные сигналы (рис. 2а). Если каналный ресурс для NB-IoT выделен в полосе действующей сети LTE, то в РБ передают также опорные сигналы широкополосной сети R0, R1, а при размещении символов канала NPDSCH резервируют 1–3 OFDM-символа слева для передачи канала управления PDCCH широкополосной сети (2 OFDM-символа на рис. 2б)<sup>1</sup>.

Произведем оценку скоростей передачи данных по каналу NPDSCH. В [4, 5] специфицированы возможные варианты передач транспортных блоков вниз, размер которых не может превышать 680 бит. Модуляция при передаче – 4-ФМ. При этом в отличие от широкополосных сетей LTE, где транспортный блок размещают в одном субкадре, в NB-IoT его передача может происходить в нескольких последовательных субкадрах, от 1 до 10. В табл. 2 представлены размеры транспортных блоков в битах при передаче вниз в зависимости от модуляционно-кодирующих схем  $I_{MCS}$  и числа занимаемых при передаче субкадров  $N_{SF}$ .

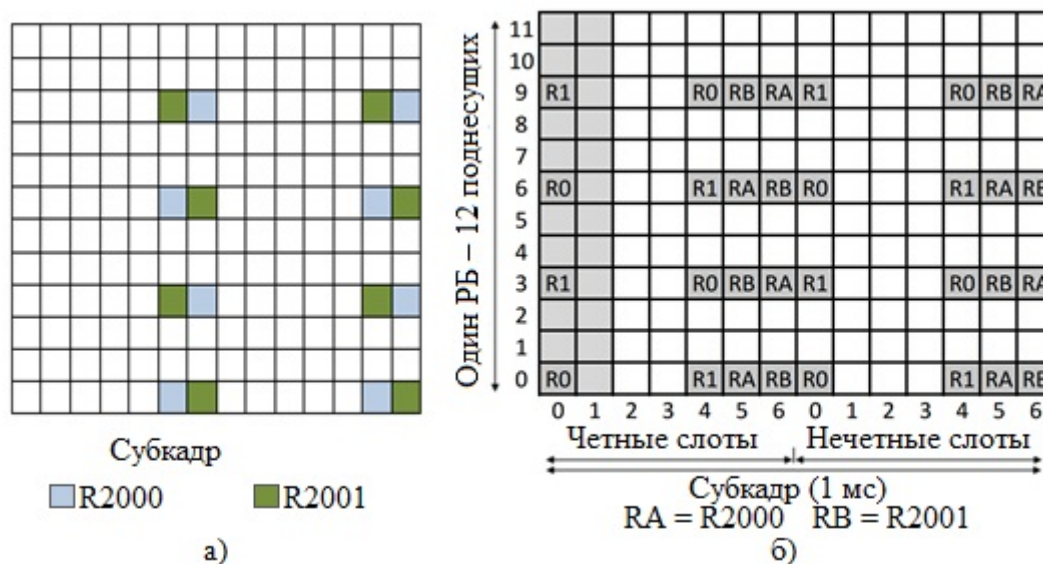


Рис. 2. Структуры РБ при передаче трафика вниз в NB-IoT

Передача трафика вниз может идти как с подтверждением, так и без подтверждения принятых блоков. Для обеспечения необходимой надёжно-

<sup>1</sup> В субкадрах, где передают канал NPBSCH, сигналы NPSS и NSSS, резервировано 3 OFDM-символа слева для канала PDCCH [4].

сти возможна повторная передача информационных блоков. Предусмотрено 15 вариантов повторов передачи блока по каналу NPDSCH: 2, 4, 8, 16, ..., 2048 раз.

ТАБЛИЦА 2. Форматы передач трафика вниз

$I_{MCS}$	$N_{SF}$							
	1	2	3	4	5	6	8	10
0	16	32	56	88	120	152	208	256
1	24	56	88	144	176	208	256	344
2	32	72	144	176	208	256	328	424
3	40	104	176	208	256	328	440	568
4	56	120	208	256	328	408	552	680
5	72	144	224	328	424	504	680	
6	88	176	256	392	504	600		
7	104	224	328	472	584	680		
8	120	256	392	536	680			
9	136	296	456	616				
10	144	328	504	680				
11	176	376	584					
12	208	440	680					

Более серьёзные нововведения в NB-IoT относятся к организации физических каналов вверх. В полосе 180 кГц используют 2 варианта формирования ресурсной сетки поднесущих. В первом, как и в действующих сетях LTE, 12 поднесущих с разносом по частоте  $\Delta F = 15$  кГц, длине слота 0,5 мс и передачей 7 OFDM-символов в слоте. Во втором варианте в полосе 180 кГц размещают 48 поднесущих с сеткой частот  $\Delta F = 3,75$  кГц, длине слота 2 мс и передачей 7 OFDM-символов в слоте. В обоих вариантах при передаче вверх используют технологию SC-FDMA.

При *передаче вверх* на физическом уровне NB-IoT определены каналы:

– передачи данных NPUSCH – Narrowband Physical Uplink Shared Channel,

– доступа к сети NPRACH – Narrowband Physical Random Access Channel.

По каналу NPRACH UE посылает преамбулу запроса на доступ к сети. Трафик вверх передают по каналу NPUSCH. В отличие от передачи вниз при передаче вверх можно использовать часть поднесущих частот радиоканала. Для передачи вверх введено понятие *ресурсной единицы PE (Resource Unit)*. При этом специфицировано 2 формата передачи вверх: *формат 1* и *формат 2*. Формат 2 используют только для передачи подтверждений/неподтверждений принятых блоков вниз. PE формируют на одной поднесущей длиной 4 слота. Соответственно при  $\Delta F = 3,75$  кГц длина PE составляет 8 мс, а при  $\Delta F = 15$  кГц – 2 мс. Модуляция 2-ФМ.

При передаче в формате 1 в случае  $\Delta F = 3,75$  кГц PE составляет одна поднесущая и 16 слотов, т.е. длина PE 8 мс. При этом используют модуляцию  $\pi/2$ ФМ.

При работе с сеткой  $\Delta F = 15$  кГц специфицированы 4 варианта формирования РЕ (табл. 3). Фактически это означает, что при использовании последних трех форматов передают одно и то же число символов, растягивая передачу во времени. При выборе РЕ с одной поднесущей число символов в РЕ снижается вдвое. Во всех вариантах РЕ расположение опорных сигналов демодуляции в слотах соответствует принятому в широкополосных сетях LTE.

ТАБЛИЦА 3. Варианты формирования ресурсных единиц

Число поднесущих	Число слотов	Длина РЕ (мс)
1	16	8
3	8	4
6	4	2
12	2	1

Модуляция при использовании РЕ из одной поднесущей может быть  $\pi/2$ ФМ или  $(\pi/4)$  4-ФМ. Во всех других вариантах при работе с  $\Delta F = 15$  кГц модуляция 4-ФМ.

Модуляционно-кодирующие схемы при передаче вверх такие же, как и при передаче вниз, но максимальный объем транспортного блока увеличен до 1000 бит. Передача одного транспортного блока может занимать от одного до 10 РЕ. Максимальная скорость передачи данных соответствует максимальной скорости при передаче вниз.

Для повышения надежности связи предусмотрена повторная передача блоков, где число повторов может составлять от 2 до 128.

#### Список используемых источников

1. Алексеев В. Технология мобильной связи для IoT стандарта 3GPP Rel.13 // Беспроводные технологии. 2016. № 4. С. 44–55.
2. Narrowband Internet of Things. Whitepaper. Rohde&Schwarz. 2016. URL: [https://cdn.rohde-schwarz.com/pws/dl\\_downloads/dl\\_application/application\\_notes/1ma266/1MA266\\_0e\\_NB\\_IoT.pdf](https://cdn.rohde-schwarz.com/pws/dl_downloads/dl_application/application_notes/1ma266/1MA266_0e_NB_IoT.pdf)
3. 3GPP TS 36.101 V14.2.1. Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); User Equipment (UE) radio transmission and reception. 2017. 1200 p.
4. 3GPP TS 36.211 V14.1.0. Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical Channels and Modulation. 2016. 175 p.
5. 3GPP TS 36.213 V14.1.0. Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical layer procedures. 2016. 414p.

УДК 621.396.9

## РАЗВИТИЕ СТАНДАРТА LTE НА ПУТЯХ ПЕРЕХОДА К СЕТЯМ 5G

**Х. А. М. Аль-Осаими, Н. А. Груздева, А. Е. Рыжков**

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

*Рассмотрены структурные изменения сетей LTE на пути к 5G, повышение скоростей передачи данных за счет технологии агрегации полос, в том числе в диапазоне 5 ГГц. Приведены характеристики новых технологий и услуг: узкополосного Интернета вещей, приоритетной и автомобильной связи, специфицированных в 2016 г.*

*LTE, структура сети, агрегация полос, новые технологии, новые услуги.*

Развитие стандарта LTE в 2016 г. происходило по 3 направлениям:

- переход к новым структурам сети,
- повышение скорости передачи данных,
- появление новых и расширение возможностей действующих услуг.

Структурные изменения обусловлены переходом к интегрированной глобальной сети радиодоступа, где сеть LTE формирует базовую структуру сети 5G. На периферии (краях) будут функционировать различные по назначению и техническим характеристикам сети разных владельцев и операторов с автономным управлением. В результате возникает программно-организованная сеть (SDN – *Software-define network*), где часть функций выполняют реальные функциональные устройства (железо), а другая часть виртуализована, выполняется на программном уровне и реализуется с помощью облачных вычислений (рис. 1) [1].

Другие структурные изменения в сетях LTE связаны с всё более широким использованием вынесенных радиомодулей RRH (*Remote Radio Header*), в связи с чем наряду со стандартными проблемами реализации интерфейса, связывающего eNBc ядром сети (*backhaul*) появляются проблемы оптимизации интерфейсов (*fronthaul*) между блоками цифровой обработки сигналов BBU (*Baseband unit*) и RRH. На рис. 2 приведен вариант централизованной подсистемы радиодоступа (C-RAN) с вынесенными BBU, соединенными с RRH посредством интерфейса CPRI (*Common Public Radio Interface*) на основе оптического кабеля. Выполнение вычислений BBU в облачном пространстве позволит в значительной степени виртуализовать распределенную структуру подсистемы радиодоступа.

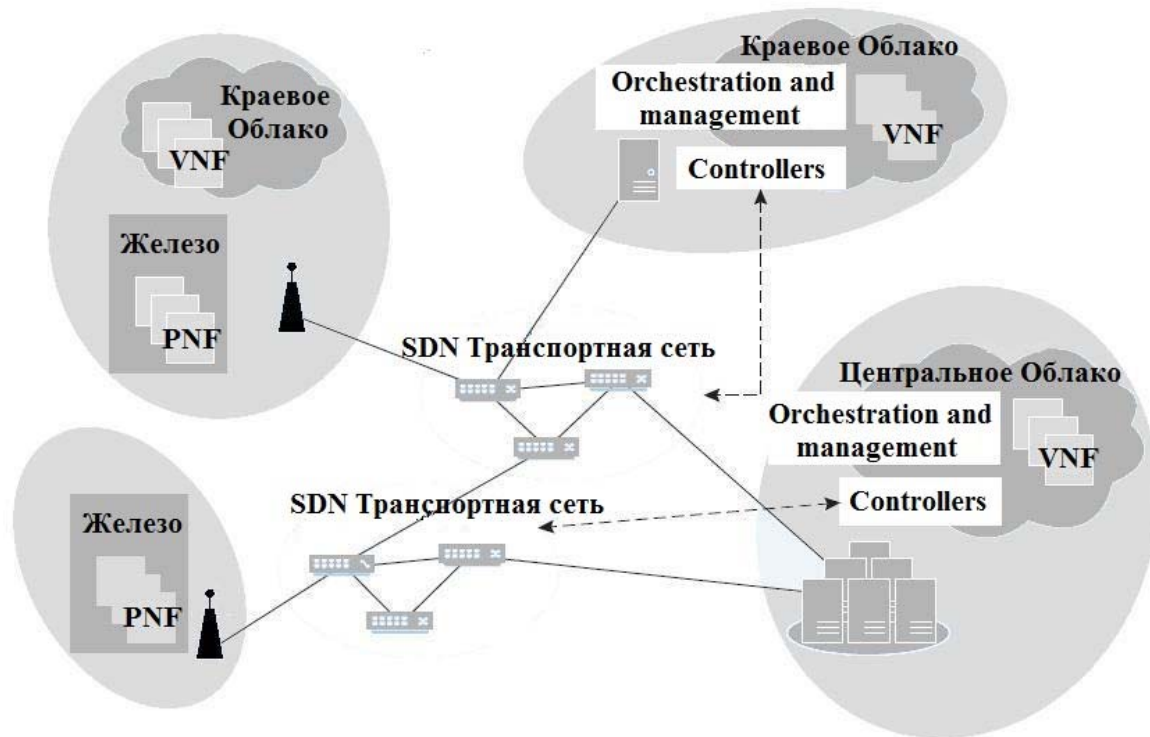


Рис. 1. Программно-организованная сеть



Рис. 2. Структура централизованной подсистемы радиодоступа

В 2016 г. дальнейшее развитие получила технология агрегации частотных полос. В Rel.13 специфицированное число агрегируемых полос при передаче вниз достигло 4. При этом одна из полос может быть сдвоенной, шириной в 40 МГц. В результате суммарная полоса приема вниз составляет 100 МГц, что расширило число категорий абонентской аппаратуры. В [2] введены категории 16–19 мобильных терминалов, поддерживающих скорости передачи вниз более 1 Гбит/с.



Ещё бóльшие возможности в увеличении скоростей передачи вниз открывает использование в сетях LTE нелицензированного диапазона 5 ГГц, в котором сейчас работают сети стандарта IEEE802.11 (Wi-Fi). Речь идёт о диапазоне 46 сетей LTE с временным дуплексом (5150–5925 МГц), где для увеличения пропускной способности вниз в качестве *вторичных сот* используют соты полосой в 20 МГц, по частотам совпадающие с каналами, выделенными для Wi-Fi. Передача вверх в этих сотах не предусмотрена. Всего в этом диапазоне специфицировано 26 частотных каналов шириной в 20 МГц. Агрегация частотных каналов в диапазоне 5 ГГц позволит в разы увеличить скорости передачи трафика вниз, что означает переход к новой фазе сетей LTE-A-Pro.

В Rel.13 предложены 2 новые технологии совместной работы сетей LTE и Wi-Fi в диапазоне 5 ГГц. Технология LAA (*Licensed Assisted Access*) позволяет вести как отдельную, так и совместную работу в одном частотном канале двух сетей: LTE и Wi-Fi. Чтобы не допустить одновременного занятия канала станциями двух стандартов, для базовых станций LTE предусмотрена процедура LBT (*Listen Before Talk*) по аналогии с процедурой прослушивания канала в сетях Wi-Fi.

Другая технология, LWA (*LTE-WLAN Aggregation*) позволяет реализовать совместный прием трафика вниз на абонентский терминал по сетям LTE и Wi-Fi. При этом возможны два варианта ответвления трафика в сеть Wi-Fi:

- совместная передача трафика сквозного канала по радиointерфейсам LTE и Wi-Fi (*split LWA bearer*);
- коммутация трафика сквозного канала целиком на радиointерфейс Wi-Fi (*switched LWA bearer*).

Среди новых услуг, заявленных в 2016 г., отметим появление технологии узкополосного радиодоступа Интернета вещей NB-IoT (*Narrow Band Internet of Things*), приоритетной передачи информации MCPTT (*Mission-critical push-to-talk*) и связи автомобиля V2X (*Vehicle to Everything*) с другими автомобилями, пешеходами, объектами дорожной структуры и т. п. Для сетей V2X выделен диапазон частот 47 (5855–5925 МГц).

Сети узкополосного радиодоступа NB-IoT работают в полосе 180 кГц, что соответствует одному ресурсному блоку в LTE. При этом возможны следующие варианты реализации сети (рис. 3):

- работа внутри выделенной оператору LTE рабочей полосы;
- работа внутри защитного интервала между выделенными полосами рабочих частот;
- одиночный режим работы в стандартном частотном канале 200 кГц внутри диапазона частот сети GSM.

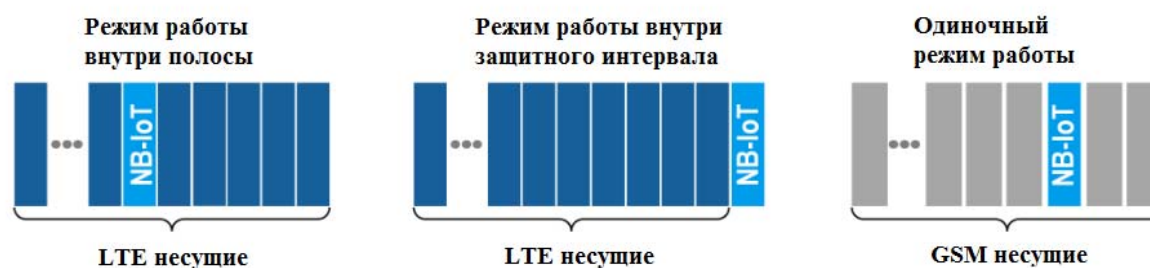


Рис. 3. Выделение каналов для NB-IoT

ТАБЛИЦА. Классы услуг и их характеристики в Rel.14 E-UTRA

QCI	Тип	Приоритет	Допустимая задержка, мс	Допустимые потери блоков	Услуги	
1	GBR	2	100	$10^{-2}$	Телефония в реальном времени	
2		4	150	$10^{-3}$	Видеотелефония, видео в реальном времени	
3		3	50	$10^{-3}$	Игры в реальном времени, сообщения V2X (Vehicle-to-Everything)	
4		5	300	$10^{-6}$	Видео с буферизацией	
65		0,7	75	$10^{-2}$	Приоритетная связь в сетях общественной безопасности (МСРТТ)	
66		2	100	$10^{-2}$	Неприоритетная связь в профессиональной мобильной связи	
75		2,5	50	$10^{-2}$	Сообщения V2X	
5		Non-GBR	1	100	$10^{-6}$	Сигнализация (IMS)
6	6		300	$10^{-6}$	Видео с буферизацией, TCP/IP услуги для приоритетных пользователей	
7	7		100	$10^{-3}$	Аудио, видео в реальном времени, интерактивные игры	
8	8		8	300	$10^{-6}$	Видео с буферизацией, TCP/IP услуги
9			9			
69	0,5		60	$10^{-6}$	Сигнализация МСРТТ	
70	5,5		200	$10^{-6}$	МСРТТ данные	
79	6,5		50	$10^{-2}$	Сообщения V2X	

Предусмотрены 2 варианта передачи трафика в сетях NB-IoT (рис. 4). В стандартном варианте сообщения трафика формируют в виде Интернет-дейтаграмм и его передают в пользовательской плоскости через шлюзы S-GW и PDN-GW. В другом варианте трафик следует как псевдо-сигнальные сообщения через MME и шлюз SCEF (*Service Capability Exposure Function*), специально введенный для обмена небольшой по объему информацией без «излишеств» формата Интернет-пакетов.

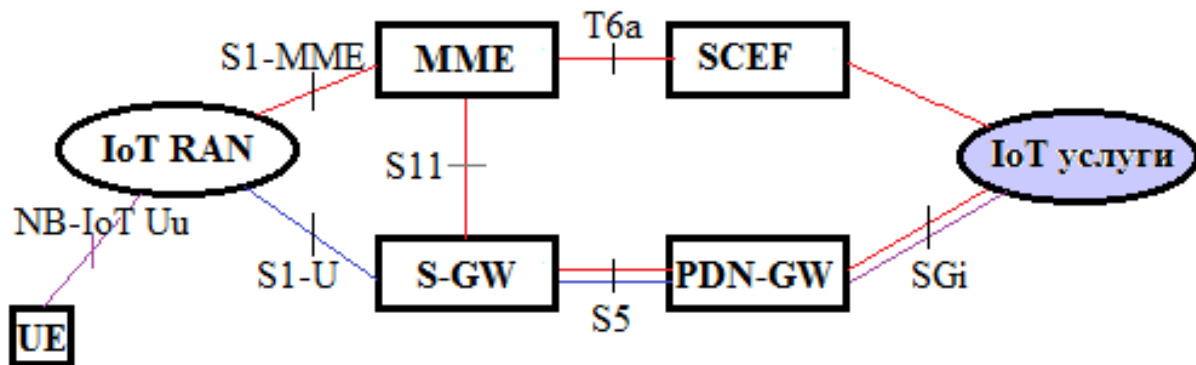


Рис. 4. Варианты передачи трафика в NB-IoT

Введение услуг MCPTT и V2X привело к увеличению числа классов услуг. К традиционным для сетей LTE 9 классам трафика добавлены классы с двойной нумерацией и дробными приоритетами (см. табл.) [3]. Среди услуг с гарантированной скоростью (GBR) наивысший приоритет (0,7) присвоен связи MCPTT, ориентированной на использование в сетях общественной безопасности. Сигнализация MCPTT также получила наивысший приоритет среди услуг с негарантированной скоростью (*Non-GBR*).

#### Список используемых источников

1. Rost P., Banchs A., Berberana I. and oth. Mobile Network Architecture Evolution toward 5G // IEEE Communications Magazine. 2016, May. P. 84–91.
2. 3GPP TS 36.306 V14.1.0. Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); User Equipment (UE) radio access capabilities. 2016. 65 p.
3. 3GPP TS 23.203 V14.1.2. Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Policy and charging control architecture. 2016. 256 p.

УДК 654.078

## ПРОВЕДЕНИЕ ПРОЦЕДУРЫ SWAP В СОТОВОЙ СВЯЗИ. ЦЕЛИ, ЗАДАЧИ, РЕЗУЛЬТАТЫ

**Р. А. Андреев<sup>1</sup>, Н. В. Бабаев<sup>2</sup>, Е. В. Боброва<sup>2</sup>, А. В. Качнов<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

<sup>2</sup>Общество с ограниченной ответственностью «Гиперион»

*Рассмотрены цели и задачи замены оборудования базовых станций операторами сотовой связи. Показаны причины проведения замены оборудования как со стороны операторов, так и со стороны производителей телекоммуникационного оборудования. Подведены итоги проведения Swap в конкретной сети оператора.*

*Swap, Single Run, рефарминг, телекоммуникационное оборудование, базовые станции, замена.*

В настоящее время сети операторов сотовой связи представляют собой довольно обширную инфраструктуру которых создавалась в течение многих лет. По понятным причинам оборудование различных поколений связи (2-го, 3-го, 4-го поколений) устанавливалось в разное время, и соответственно, эксплуатация осуществлялась в разные временные интервалы.

Техника и технология не стоят на месте, производители модернизируют и выпускают на рынок все более современные решения. Соответственно, операторы принимают все усилия для модернизации и оптимизации оборудования сети, в том числе за счет замены морально и физически устаревшего оборудования на современное. Этот процесс получил название Swap (от англ. *swap* – дословно меняться, менять).

Еще одной технической причиной проведения Swap является переход оператора к Single Run – работа на оборудовании одного производителя. Возможны случаи, когда 2G- и 3G-сети в регионе работают на оборудовании от одного производителя, а вся LTE-сеть – на оборудовании другого [1], кроме того процедуру Swap можно применять и к корпоративным Wi-Fi сетям, например, для повышения их пропускной способности или защищенности от атак [2].

Переход на Single Run экономически выгоден для оператора: сокращаются расходы на организацию процедуры управления сетью, унифицируется антенно-фидерная часть и повышается надежность. Однако переход к Single Run по закону РФ является нарушением антимонопольного законодательства. Помимо чисто технической стороны вопроса проведения процедуры

Swap существует еще и экономическая целесообразность в выполнении данного вида работ. Замена оборудования может принести операторам существенный выигрыш в будущем, несмотря на существенные финансовые затраты, необходимые для осуществления данного вида работ. Стоит также отметить, что экономическая выгода, далеко не очевидная стороннему наблюдателю, имеется и для производителей.

На сегодняшний день производством телекоммуникационного оборудования занимаются множество компаний помимо традиционных европейских производителей (*Ericsson, Nokia, Kathrein, RFS, RADWIN, Antenes Andreu*) на рынке представлено большое количество азиатских (*ZTE, Huawei, Tongyu Communication, NEC*), среди которых несомненными лидерами являются китайские флагманы. Благодаря гибкой системе конфигурирования, широкому спектру оборудования, ценовой политике, а также грамотной технической поддержки и послепродажного обслуживания оборудование китайских компаний получило широкое распространение на территории Российской Федерации.

Емкость рынка телекоммуникационного оборудования с каждым годом сжимается за счет разворачивания сетей последних поколений в отдаленных от центра областях. В таких условиях для того, чтобы закрепиться на рынке или освоить новые регионы вендорам приходится снижать цены на оборудование для операторов. В отдельных случаях скидки на аппаратуру могут достигать 90–95 %. Такая ценовая политика не в последнюю очередь может повлиять на решение оператора сменить парк аппаратуры на новый по более привлекательным ценам.

В реалиях рыночной экономики производители телекоммуникационного оборудования не могут позволить себе работать в убыток. В связи с этим устанавливаются специальные правила на покупку программного обеспечения к оборудованию, расширений программного обеспечения или обновлений программного обеспечения. Например, вендор может сделать скидку на оборудование, при условии, что оператор в течение нескольких лет будет покупать ПО и обновления к нему за полную стоимость. При такой договоренности производитель оборудования получает возможность закрепиться на рынке, а оператор сотовой связи получает новейшее оборудование для своей сети.

Swap очень тяжелый и длительный процесс. Только для замены оборудования на сети потребуется 1,5–2 года. Приметно столько же займет становление сети после замены: необходимо оптимизировать сеть под новое оборудование, составить карту покрытия и т. д. Необходимо учитывать, что Swap производится на работающей сети, а значит, замена оборудования не должна повлиять на качество связи для абонентов.

Замену оборудования необходимо производить не только на outdoor базовых станциях, но и в indoor системах, таких как в DAS или Small Sells [3, 4].

В некоторых случаях замене на outdoor станциях подвергается только антенно-фидерный тракт, с последующей оптимизацией зоны покрытия [5]. Разработку новых решений и разворачивание систем indoor покрытия на основе открытых технологий можно считать одной из модификаций процедуру Swar [6].

Исторически первый в России Swar был произведен ОАО «МТС» в Псковской области в 2010 г. Устаревшее оборудование фирмы Motorola было заменено на новое от компании Ericsson. В процессе были выработаны методики и алгоритмы замены оборудования как на действующей сети без уменьшения показателей KPI, так и алгоритмы замены оборудования с полным отключением базовой станции. Выработанные алгоритмы применяются всеми операторами при проведении замены оборудования. Необходимо отметить большой вклад одного из авторов данной работы Андреева Р. А. в разработку методологии проведения Swar на действующей сети.

Итоги проведения Swar целесообразно рассмотреть на конкретном примере. В 2016 г. ПАО «Мегафон» завершил в Санкт-Петербурге масштабный проект по оптимизации сети. Сотрудники оператора совместно с компанией Huawei определили самые ключевые показатели работы голосовой связи, клиентских сервисов, передачи данных – всего более 15 параметров, а затем приняли необходимые меры, чтобы улучшить каждый из них. В ходе проведения работ было заменено устаревшее оборудование компании Nokia. Благодаря оптимизации доступность соединений в сети 3G увеличена в полтора раза, в LTE – на 70 %, удалось сократить время установления соединения почти на 20 % и увеличить скорость мобильной передачи данных в два раза [7].

#### Список используемых источников

1. Рыжков А. Е., Воробьев В. О., Слышков А. С., Сиверс М. А., Гусаров А. С., Шуньков Р. В. Стандарты и сети радиодоступа 4G. СПб.: Линк, 2012. 226 с.
2. Качнов А. В., Гусев А. В., Андреев Р. А., Бачевский С. В., Богданов А. И. Повышение пропускной способности сетей Wi-Fi в диапазоне 2,4 ГГц при использовании четырехканального частотного плана // Сборник трудов XV международной конференции NIDays-2016, Москва, 25 ноября 2016 г. М.: ДМК-пресс, 2016.
3. Качнов А. В., Боброва Е. В., Андреев Р. А. Развертывание DAS системы в ТРК «ЛЕТО» // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. V Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сб. науч. ст. в 3 т. СПб.: СПбГУТ, 2016. Т 1. С. 85–88.
4. Качнов А. В., Гальчин Р. И., Андреев Р. А. Внедрение основных операторов в DAS систему ТРК «ЛЕТО» // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. V Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сб. науч. ст. в 3 т. СПб.: СПбГУТ, 2016. Т 1. С. 88–91.
5. Качнов А. В., Морозова Т. М., Андреев Р. А. К вопросу определения азимута антенны базовой станции сотовой связи // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. V Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сб. науч. ст. в 3 т. СПб.: СПбГУТ, 2016. Т 1. С. 91–95.

6. Качнов А. В., Боброва Е. В., Андреев Р. А., Бачевский С. В. Создание беспроводной DAS системы на базе оборудования National Instruments USRP // Сборник трудов XV международной конференции NIDays-2016, Москва, 25 ноября 2016 г. М.: ДМК-пресс, 2016.

7. Оптимизация Мегафона-скорость вдвое выше [Электронный ресурс] / Деловой Петербург // URL: [https://www.dp.ru/a/2016/12/15/Optimizacija\\_MegaFona-skor](https://www.dp.ru/a/2016/12/15/Optimizacija_MegaFona-skor)

*Статья представлена директором НИИ «Технологий связи», кандидатом технических наук, доцентом Б. М. Антипиным.*

УДК 621.372.62

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗБАЛАНСА ВХОДНЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ АНТЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ТУРНИКЕТНОЙ АНТЕННЫ НА ЕЕ ПОЛЯРИЗАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА

**А. В. Андропов, Д. И. Кирик**

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

*Рассматривается турникетная антенна, состоящая из скрещенных симметричных вибраторов, подключенных к выходам фазоразностной схемы, осуществляющей квадратурное питание антенных элементов. Анализируется влияние разбаланса входных сопротивлений антенных элементов на параметры поляризационного эллипса антенны. Для этого был произведен численный расчет фазоразностной схемы в программе AWR Microwave office, где к выходам схемы подключались различные виды нагрузок, моделирующие входные сопротивления антенны.*

*фазоразностная схема, антенна, эллиптичность.*

Для реализации приема кругополяризованных волн широкое распространение получил турникетный вибратор, состоящий из двух электрических вибраторов, находящихся в пространственной и временной квадратурах и питаемых равноамплитудно со сдвигом фаз  $90^\circ$ .

Встроенные в несущую конструкцию турникетной антенны вибраторы испытывают различное взаимодействие с окружающими предметами, подстилающей поверхностью, а также с другими антеннами при формировании антенных решеток или систем. Это взаимодействие приводит к разбалансу входных сопротивлений скрещенных вибраторов, что в свою очередь может привести к нарушению поляризационной характеристики антенны.

Квадратурный сдвиг турникетной антенны осуществляется, с помощью подключения антенных элементов к выходам фазоразностной схемы (ФРС) для формирования кругополяризованной волны в плоскости, перпендикулярной плоскости распространения электромагнитной волны. Оценка влияния разбаланса входных сопротивлений на поляризационные свойства турникетной антенны осуществлялась с помощью численного моделирования в программе AWR Microwave Office, где была создана расчётная модель устройства. За основу была взята ФРС НУВ30-1000-4 фирмы “Sirius” [1] на выходы которой поэтапно подключались различные виды нагрузок  $z_1$  и  $z_2$ , моделирующие входные сопротивления антенны согласно схеме, показанной на рис. 1. В ходе моделирования рассчитывались величины амплитуд сигналов в выходных плечах схемы  $U_1$  и  $U_2$ , отношение амплитуд  $m = \frac{U_1}{U_2}$  и разность фаз между ними  $\psi$ .

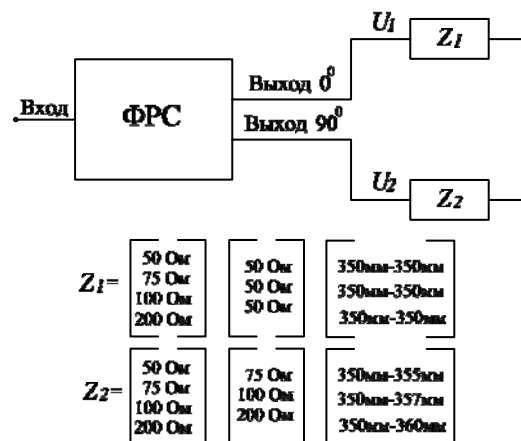


Рис. 1. Схема этапов моделирования входных сопротивлений антенны

Аналізу подлежали характеристики поляризационного эллипса: коэффициент эллиптичности  $R$  и  $\beta$  — угол поворота большей оси поляризационного эллипса, относительно координатных осей  $x$  и  $y$  (рис. 2).

Коэффициент эллиптичности  $R$  — отношение малой и большой главных осей эллипса, находился согласно формуле [2]:

$$R = \sqrt{\frac{\cos^2 \beta - \alpha^2}{\alpha^2 - \sin^2 \beta}},$$

где  $\beta$  и  $\alpha$  вычислялись согласно формулам [2]:

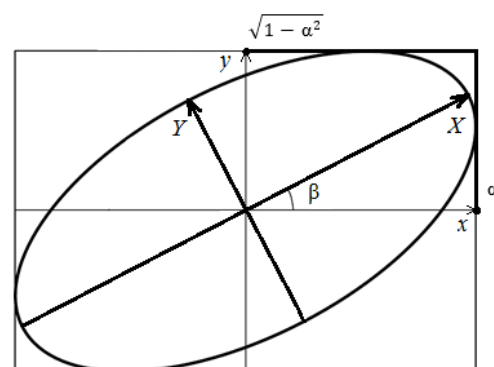


Рис. 2. Поляризационный эллипс



$$\beta = \frac{1}{2} \operatorname{arctg} \left[ \frac{2 \cos \Psi \cdot \alpha \cdot \sqrt{1 - \alpha^2}}{2\alpha^2 - 1} \right],$$

$$\alpha = \sqrt{\frac{m}{1+m}}.$$

На первом этапе исследовалось влияние одинаковых нагрузок, величиной 50, 75, 100 и 200 Ом, являющиеся активной составляющей сопротивления, при условии, что реактивные составляющие входных сопротивлений вибраторов идентичны. Численный расчет показал, что коэффициент эллиптичности не претерпевает серьезных изменений и лишь при нагрузках 200 Ом, значения опускаются до предельных 0,707. Однако с увеличением сопротивления, растут потери в каналах. На рис. 3 показан график амплитуд сигналов при подключении различных нагрузок, откуда следует, что увеличение активного сопротивления приводит к быстрому падению КПД подключённого устройства. Поэтому, при подключении антенных элементов, с увеличенным активным сопротивлением, отличным от входных сопротивлений ФРС, необходимо вводить согласующие устройства. Так же возможно включение согласующих усилителей между ФРС и антенными элементами.

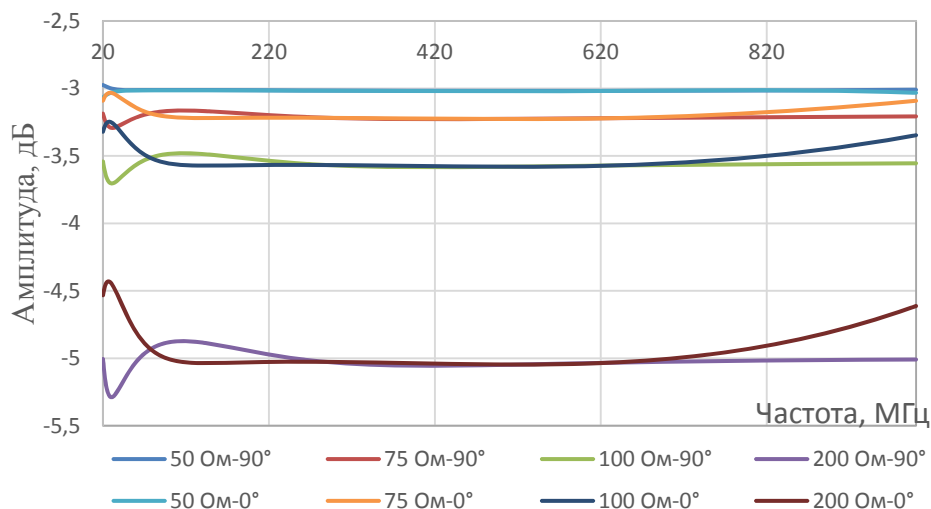


Рис. 3. Амплитуды сигналов при подключении различных нагрузок

На втором этапе оценивался коэффициент эллиптичности при дисбалансе нагрузок, когда одно плечо схемы фиксировано нагружалось на 50 Ом, а второе поочередно на 75, 100 и 200 Ом.

Как видно из рис. 4, такой дисбаланс ведет к потере эллиптичности при больших отличиях нагрузок, так же следует отметить, обращаясь к первому опыту, что падает и КПД системы.

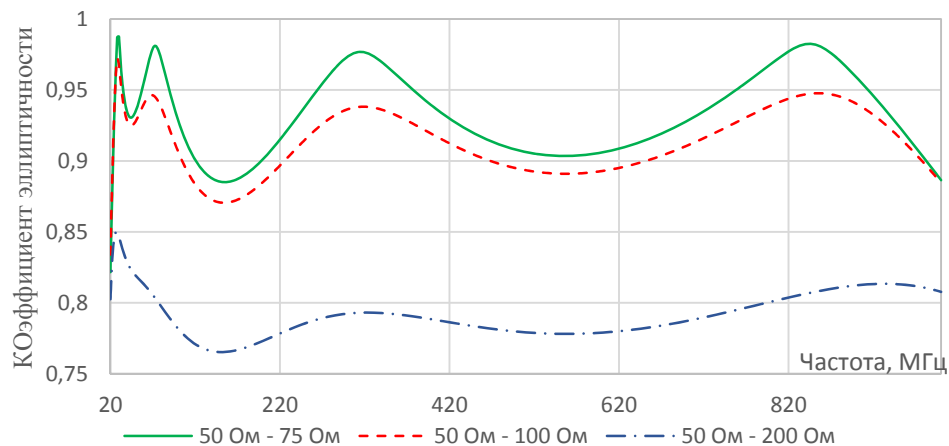


Рис. 4. Значения коэффициента эллиптичности при дисбалансе нагрузок

Следующим этапом исследования было подключение к расчетной модели ФРС нагрузок, моделирующих входные сопротивления реальных электрических вибраторов, с различной длиной плеч, являющихся комплексными нагрузками. Входные сопротивления вибраторов были вычислены с помощью ANSYS HFSS и экспортированы в расчетную модель. Рассчитанные значения коэффициента эллиптичности, показанные на рис. 5, позволяют определить характер изменения эллиптичности, очевидно, что при увеличении разницы в длинах плеч вибраторов коэффициент эллиптичности ухудшается. Дисбаланс геометрии в 10 мм, что соответствует 3 % от длины плеча, приводит к тому, что значения коэффициента эллиптичности приближаются к предельным 0,707.

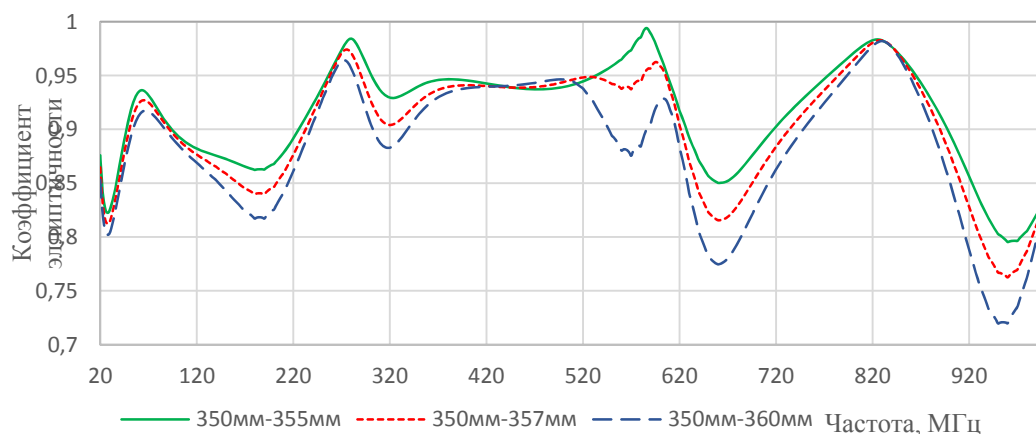


Рис. 5. Значения коэффициента эллиптичности при подключении электрических вибраторов с различной длиной плеч

Анализируя полученные результаты, необходимо сделать следующие выводы. Разбаланс выходных сопротивлений антенн, при отсутствии реактивных составляющих не приводит к заметному ухудшению поляризационных свойств. В то же время с ростом разбаланса быстро падает КПД антенны. Подключение реальных вибраторов даже с малой разницей

в точности изготовления приводит к появлению отличных реактивных составляющих сопротивлений и резко ухудшает поляризационные свойства.

Для достижения технически заданных поляризационных свойств, где нормируются предельные значения коэффициента эллиптичности в зависимости от задач, может быть задан диапазон значений эллиптичности, необходимо чтобы активные и реактивные составляющие входных сопротивлений подключаемых антенных элементов были равны. Особое внимание требует равенство реактивных сопротивлений во всем диапазоне рабочих частот.

#### Список используемых источников

1. Manufacturers Sirius Microwave: 90 Degree Hybrid Couplers HYB30-1000-4 specification.
2. Марков Г. Т., Сазонов Д. М. Антенны: изд.2-е. М.: Энергия, 1975. 528 с.

УДК 621.39

## ОСНОВНЫЕ ПОДХОДЫ К МИНИАТЮРИЗАЦИИ АНТЕНН

**В. А. Аникин, Р. С. Гавриш, Д. Д. Корякин, В. А. Мешалкин**

Военная академия связи имени Маршала Советского союза С. М. Буденного

*В настоящее время существует значительный интерес к области изучения свойств и параметров электрически малых антенн, которые обладают широким и сверх- широким диапазоном рабочих частот. Интерес именно к таким антеннам обеспечен стремительным развитием систем связи, для которых необходима реализация ряда специальных конструктивных требований*

*рабочий диапазон, антенны, нагрузки, диэлектрическая проницаемость.*

Существует два концептуально различающихся подхода к конструированию электрически малых антенн. Первый подход заключается в поиске новые конструкций антенн, имеющих минимальную добротность и максимально использующих внутренний объем радианной сферы для возбуждения мод свободного пространства низших порядков. Было доказано, что наилучшим и очевидным примером подобной антенны будет дипольная емкостная антенна со сферическими крышками, минимально низкую добротность  $Q$  такой антенны можно достигнуть, когда область сферических крышек составляет 0,444 от всей сферической области, что обеспечивает  $QR = Q/Q$ . Другим примером является работа, в которой изу-

чены свойства изогнутой сферической спиральной антенны [1]. Антенна электрически малая и при габаритных размерах, что соответствует высоте  $\sim 0,06\lambda$ , антенна имеет  $\sim 50$  Ом согласование по входному импедансу и КПД порядка 90 %. Кроме того, на резонансной частоте антенна обладает добротностью  $Q$ , приближающейся к фундаментальному пределу  $QR = Q/Q = 1,5$ . Характерной особенностью таких конструкций является то, что они занимают значительную часть объема радианной сферы, что затрудняет их использование в конструкциях мобильных устройств, где требуются конформные или низкопрофильных антенны.

Второй подход заключается в миниатюризации уже существующих конструкций антенн с целью снижения их добротности на частотах, где они являются электрически малыми. Метод миниатюризации антенн, предполагает сокращение фазовой скорости волны, возбуждаемой в антенной структуре. Для иллюстрации он использует аналогию между антенной и волноведущей линией.

Для которой, фазовая скорость и характеристический импеданс  $Z_0$ , могут быть записаны в виде:

$$U_p = \frac{1}{\sqrt{LC}} = \frac{1}{\sqrt{\mu\epsilon}},$$
$$Z_0 = G \sqrt{\frac{L}{C}} = G \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}},$$

где  $L$  – последовательная погонная индуктивность;  $C$  – шунтирующая погонная емкость;  $G$  – геометрический фактор. Откуда видно, что корректировать фазовую скорость можно за счет изменения погонных индуктивности и емкости. Таким образом, может быть создана необходимая электрическая задержка для получения резонанса на требуемой частоте (для узкополосных – резонансных антенн) или для расширения рабочей полосы частот СШП антенн. Изменения индуктивности и емкости, а, следовательно, и импеданса антенны можно осуществить различными способами:

- за счет изменения свойств среды;
- за счет изменения геометрии антенны;
- создания распределенной емкостной или реактивной нагрузки антенны;
- за счет нагрузки антенной точечными дискретными элементами – индуктивностями и емкостями.

Изменения диэлектрической проницаемости или магнитной восприимчивости, окружающей антенну среды, которое может быть реализовано путем нагрузки антенны материалами с высоким  $\mu$  и  $\epsilon$  или за счет использования такие материалы в качестве подложки, позволяет замедлить фазовую скорость волны, возбуждаемой в антенной структуре и, соответственно, понизить рабочую частоту. Это наиболее общий подход, что делает его применимым к любой конструкции антенны. Однако плотность материала

может сделать этот подход неприемлемым для применений, требующих легких антенн. Кроме того, потери в веществе могут играть существенную роль в применимости таких материалов.

Примером может служить, частотно-зависимые потери характерные существующим современным магнитным или магнитодиэлектрическим материалам не позволяют применять их в СВЧ-диапазоне. Стоит отметить, что для случая ШП и СШП антенн данный способ имеет свои ограничения, продемонстрированные в работе на примере спиральной антенны: улучшение КПД антенны за счет диэлектрической нагрузки на нижней частоте диапазона, сопровождалось его ухудшением в верхней части частотного диапазона. Нагрузка антенны реактивными распределенными элементами используется с целью снижения ее добротности и соответственно расширения рабочей полосы. Так широко известны монополярная антенна, нагруженная диском и являющиеся дальнейшим ее развитием дискоконусные антенны, опубликованные во многих классических учебниках [2]. Наиболее интересны для представления современные работы, касающиеся миниатюризации печатных антенн. Один из широко используемых подходов миниатюризации печатных антенн заключается в физическом удлинении полосковых линий антенной структуры и использовании структур типа «меандр». Отдельно остановимся на результатах миниатюризации спиральной антенны из-за ее сверхширокополосных свойств. Индуктивная нагрузка плечей спирали представляет собой катушку, реализованную с помощью полосков и переходных отверстий на печатной плате. Индуктивная нагрузка позволяет поднять КПД спиральной антенны на частотах ~300 МГц на порядок и сдвинуть нижнюю границу рабочего диапазона антенны.

Уменьшение фазовой скорости распространения волны достигается путем повышения индуктивности и емкости структуры антенны. Такой подход можно реализовать с помощью монтажа дискретных элементов: индуктивностей, включенных последовательно в рукава спирали, и конденсаторов, включенных параллельно в соседние рукава спирали. Отметим, что этот подход хорошо работает до тех пор, пока число дискретных элементов не велико и, соответственно, пока потерями, связанными с омическими потерями в контактах и в самих LC-элементах можно пренебречь.

#### **Список используемых источников**

1. Дмитриев А. С., Клецов А. В., Лактюшкин А. М., Панас А. И., Синякин В. Ю. Сверхширокополосная СВЧ приемопередающая платформа на основе хаотических сигналов // Радиотехника. 2007. № 1. 250 с.
2. Максимов Н. А., Панас А. И. Энергоэффективный генератор микроволнового хаоса // Успехи современной радиоэлектроники. 2013. № 3. С. 79–83.

УДК 654.022

## СТАТИСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СУБРЕФРАКЦИОННЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ НЕУСТОЙЧИВОСТИ СВЯЗИ В УСЛОВИЯХ НЕДОСТАТОЧНЫХ ВЫСОТ АНТЕНН НА ИНТЕРВАЛАХ РРЛ

Н. Н. Бабин, О. С. Данилович

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

*С учетом специфических особенностей территории России (большие расстояния, неравномерная плотность населения, суровые климатические условия и отсутствие современной инфраструктуры во многих районах) важную роль на сетях связи различного назначения играют радиорелейные линии [1]. Одной из наиболее сложных задач при проектировании радиорелейных линий является учет влияния субрефракционных замираний сигналов при выборе высот подвеса антенн и расчете показателей качества передачи на интервалах [2, 3].*

*В настоящей статье рассматриваются задачи, связанные с влиянием субрефракционных замираний на интервалах: исследование различия минимальных допустимых высот антенн, выбранных в соответствии с указанными выше методами, и оценка влияния этого различия на субрефракционные составляющие показателей качества передачи для разных радиоклиматических районов территории России [2].*

*субрефракционные замирания, показатели качества передачи, минимально допустимые высоты антенн.*

При проектировании цифровых радиорелейных линий (ЦРРЛ) сантиметрового диапазона в России используются два подхода к учету влияния субрефракционных замираний. Первый метод, основанный на Рекомендации Р.530 Международного союза электросвязи (МСЭ), часто используется при оперативном планировании сетей подвижной и технологической радиосвязи [4]. Второй метод соответствует российской «Методике расчета трасс цифровых РРЛ прямой видимости в диапазоне частот 2–20 ГГц», разработанной научно - исследовательским институтом радио (НИИР) [2]. Этот метод обычно применяется при проектировании цифровых радиорелейных линий, входящих в состав единой сети электросвязи России.

Необходимо отметить, что при выборе высот антенн на протяженных интервалах с использованием любого из рассматриваемых методов определяющую роль играет критерий допустимости в условиях субрефракции радиоволн. В соответствии с Рекомендацией МСЭ-Р Р.530 при выборе наи-

меньших допустимых высот антенн в качестве критерия их допустимости при субрефракции используется неравенство:

$$p[g(0,1\%)] \geq 0,52, \quad (1)$$

где  $g(0,1\%)$  – значение вертикального градиента диэлектрической проницаемости при субрефракции, превышаемое в 0,1 % времени, 1/м:

$$g(0,1\%) = 31,4 \cdot 10^{-8} \left[ \frac{1}{k_r(99,9\%)} - 1 \right],$$

где  $k_r(99,9\%)$  – значение коэффициента рефракции для континентального умеренного климата, превышаемое примерно в 99,9 % времени худшего месяца и зависящая только от длины интервала (определяется из [4]);  $p[g(0,1\%)]$  – относительный просвет при субрефракции для  $g = g(0,1\%)$ , нормированный относительно радиуса существенной области распространения радиоволн, соответствующей полю свободного пространства  $H_0$ .

При выборе наименьших допустимых высот антенн метод, основанный на Методике НИИР, предусматривает использование комплексного критерия, основанного на оценке величины дифракционных потерь в условиях субрефракции и сравнении ее с пороговым значением, определяемым энергетическими параметрами используемого радиорелейного оборудования и антенн [2]. Данный подход предусматривает учет субрефракционных составляющих при оценке обоих нормируемых показателей качества передачи: показателя качества по ошибкам для сильно пораженных (ошибками) секунд (показателя SESR) и среднегодового показателя неготовности (показателя UAR).

В соответствии с Методикой НИИР условием допустимости пары высот антенн при субрефракции является неравенство:

$$V_{\text{дифр}}(g_0) \geq V_{\text{дифр.мин}}, \quad (2)$$

где  $g_0$  – значение вертикального градиента диэлектрической проницаемости при субрефракции, 1/м;  $V_{\text{дифр}}(g_0)$  – дифракционный множитель ослабления в условиях субрефракции, дБ, зависящий от конкретной формы профиля интервала;  $V_{\text{дифр.мин}}$  – минимально допустимое значение дифракционного множителя ослабления, зависящее от энергетических параметров используемого радиорелейного оборудования и антенн, дБ.

Значение градиента  $g_0$  зависит от статуса РПЛ, в состав которой входит рассматриваемый интервал, и соответствующего требования к показателю качества по ошибкам (показателю SESR), а также от региональной статистики рефракции радиоволн:

$$g_0 = \bar{g} + \psi_0 \cdot \sigma_g(R),$$

где  $\bar{g}$  и  $\sigma_g(R)$  – среднее значение и стандартное отклонение распределения градиента  $g$  для худшего сезона (которому соответствует большее значение  $g_0$ ), причем величина  $\sigma_g(R)$  определяется для области субрефракции с учетом длины интервала [2, 3];  $\psi_0$  – центрированный и нормированный градиент диэлектрической проницаемости, определяемый в результате решения уравнения:

$$\frac{38,89}{\psi_0} \exp\left(-\frac{\psi_0^2}{2}\right) = 0,89 \cdot \beta \cdot S_H \cdot R / L_{ЭТ},$$

где  $\beta$  – параметр, зависящий от статуса РРЛ и длины гипотетического эталонного тракта  $L_{ЭТ}$  [2], а  $S_H$  – нормируемое значение показателя SESR, %.

Расчет дифракционного множителя ослабления  $V_{\text{дифр}}(g_0)$  на закрытых и полуоткрытых интервалах, выполняемый в соответствии с [2, 3], основан на сферической аппроксимации препятствий на профиле, причем в качестве параметров аппроксимирующей окружности используются длина хорды и высота сегмента.

Комплексный характер учета всех основных факторов, влияющих на выбор высот антенн, дает основание считать метод проверки допустимости пар высот антенн, основанный на Методике НИИР, наиболее адекватным и рассматривать его как эталонный при сравнении с методом, основанным на Рекомендации МСЭ-Р Р.530.

Сравнительный анализ минимальных допустимых высот антенн, выбранных в соответствии с (1) и (2), выполнен с использованием обширного массива топографических данных 83 интервалов длиной от 30 до 65 км, входящих в состав реальных цифровых РРЛ.

Исследование минимальных высот антенн выполнялось для радиоклиматических районов территории России с разными статистическими характеристиками рефракции радиоволн [2].

При выполнении всех вычислительных экспериментов, связанных с построением и графической обработкой профилей интервалов, а также с расчетом показателей качества передачи, использовалась прикладная программа ДИСАП-ЦРРЛ.

Получены в результате проведенных вычислительных экспериментов статистические характеристики разности минимальных допустимых высот антенн  $\Delta h$ , соответствующих Рекомендации Р.530 (выражение (1)) и Методике НИИР (выражение (2)), для интервалов длиной 40 до 50 км и от 50 до 65 км.

В соответствии с Методикой НИИР для оценки субрефракционных составляющих показателя качества по ошибкам для сильно пораженных



секунд  $SESR_{\text{субр}}$  и среднегодового показателя неготовности  $UAR_{\text{субр}}$  использовались выражения [2]:

$$SESR_{\text{субр}} = T_0(V_{\text{мин.субр}}) \cdot \varphi_{T0},$$

$$UAR_{\text{субр}} = T_0(V_{\text{мин.субр}}) \cdot (1 - \varphi_{T0}) \cdot \beta_{\text{МГ}},$$

где  $T_0(V_{\text{мин.субр}})$  – субрефракционная составляющая неустойчивости связи, зависящая от минимально допустимого значения дифракционного множителя ослабления на интервале  $V_{\text{мин.субр}}$ , %;  $\varphi_{T0}$  – коэффициент готовности в условиях субрефракционных замираний на интервале, определяющий часть этих замираний, имеющих длительность не более 10 с;  $\beta_{\text{МГ}}$  – коэффициент пересчета показателя неготовности от условий худшего месяца к среднегодовым условиям, зависящий от климатических условий.

Получены в результате проведенных вычислений статистические характеристики относительной величины субрефракционной составляющей показателя качества по ошибкам  $\frac{SESR_{\text{субр}}}{SESR_{\text{норм}}}$  (здесь  $SESR_{\text{норм}}$  – нормируемое значение суммарного показателя качества по ошибкам на интервале) для интервалов длиной от 40 до 50 км и от 50 до 65 км для разных радиоклиматических районов.

По результатам выполненных вычислений можно сделать целый ряд важных выводов, относящихся к исследованию различия минимальных допустимых высот антенн, выбранных в соответствии с методами, основанными на Рекомендации Р.530 МСЭ и Методике НИИР, и оценке влияния этого различия на субрефракционные составляющие показателей качества передачи для разных радиоклиматических районов территории России:

- влияния субрефракционных замираний при расчете протяженных интервалов длиной более примерно 30 км следует учитывать не только при выборе высот антенн, но и при расчете обоих нормируемых показателей качества передачи: показателя качества по ошибкам для сильно пораженных секунд ( $SESR$ ) и среднегодового показателя неготовности ( $UAR$ );

- адекватный учет влияния субрефракционных замираний при выборе высот антенн и при расчете показателей качества передачи на протяженных интервалах обеспечивается лишь при использовании Методики НИИР, которая предусматривает комплексный учет всех основных факторов, при этом следует иметь в виду, что ее практическая реализация требует применения специального прикладного программного обеспечения;

- во многих случаях имеет место существенное различие результатов выбора наименьших допустимых высот антенн при использовании метода МСЭ и Методики НИИР, причем это различие зависит как от длины интервалов, так и от региональных статистических характеристик реф-

рации радиоволн, т. е. от номера радиоклиматического района территории России;

– метод МСЭ весьма прост с точки зрения практической реализации, однако он может быть использован для выбора наименьших допустимых высот антенн во всех радиоклиматических районах лишь на коротких интервалах длиной до 30 км, при этом полученные при расчете высоты антенн могут быть уменьшены на 1–3 м, а расчет субрефракционных составляющих показателей качества передачи в этом случае не требуется;

– в случае интервалов длиной от 30 до 40 км использование метода МСЭ в большинстве случаев приводит к неоправданному увеличению высот антенн на несколько метров, а в отдельных случаях, к некоторому их уменьшению, при этом в случае недостаточных высот оба показателя качества и, прежде всего, среднегодовой показатель неготовности несколько ухудшаются (ухудшение может составлять несколько процентов от соответствующих нормируемых значений) за счет дополнительных дифракционных потерь при субрефракции, поэтому в данном случае желательно выполнить расчет обеих субрефракционных составляющих показателей качества передачи;

– в случае интервалов длиной от 40 до 50 км, для которых  $\Delta h < 0$ , при выборе высот антенн в соответствии с методом МСЭ субрефракционные составляющие обоих нормируемых показателей качества в районах №№ 4, 8, и 9 не только соизмеримы с нормами на эти показатели, но во многих случаях превосходят указанные нормы в несколько раз;

– в заключение необходимо отметить, что все полученные результаты относятся к внутризональным РРЛ с длиной эталонного тракта 200 км, диапазону частот 8 ГГц и конкретным энергетическим параметрам радиорелейного оборудования и антенн, для других реальных условий проектирования ЦРРЛ численные значения результатов сравнения, конечно, могут быть иными, однако основные перечисленные выше выводы останутся неизменными.

#### Список используемых источников

1. Радиорелейные линии связи во второй декаде XXI века // Вестник связи. 2011. № 2. С. 55–56.
2. Методика расчета трасс цифровых РРЛ прямой видимости в диапазоне частот 2–20 ГГц, НИИР (ЗАО «Инженерный центр»). М., 1998.
3. Справочник по радиорелейной связи / Н. Н. Каменский, А. М. Модель, Б. С. Надененко и др.; Под ред. С. В. Бородича. М.: Радио и связь, 1981. 416 с.
4. ITU-R Recommendation P.530-14. Propagation data and prediction methods required for the design of terrestrial line-of-sight systems. 2012.

УДК 621.396.99

## АТМОСФЕРНО-ОПТИЧЕСКИЕ ЛИНИИ СВЯЗИ. LI-FI: НОВШЕСТВО, ПЕРСПЕКТИВЫ, ИННОВАЦИИ

**Р. В. Багиров, Г. В. Матвейкин**

Военная академия связи имени Маршала Советского союза С. М. Буденного

*Рассматриваются принципы работы технологии Li-Fi, характеристики, преимущества, перспективы развития и применения в различных сферах.*

*Li-Fi, VLC, беспроводные системы связи, атмосферно-оптические линии связи.*

Новая технология Li-Fi, использующая для передачи данных источники света, была впервые протестирована за пределами лаборатории, в реальных условиях. Средняя скорость оказалась в 100 раз выше, чем в средне-статистической сети Wi-Fi.

Данную технологию разработала группа ученых Эдинбургского университета во главе с немецким профессором Гаральдом Хаасом. В настоящее время параллельно исследования в области оптической беспроводной связи ведутся в Германии, США, Корее и Японии – в частности, компаниями Siemens, Intel и Casio. Как известно, в октябре 2011 г. несколько фирм из Германии, Норвегии, Израиля и США объединились в Консорциум Li-Fi для продвижения перспективной технологии на рынке.

Гаральд Хаас занимается разработками в этой сфере с 2003 г., когда в Эдинбургском университете началась реализация проекта D-Light. Эксперименты D-Light показали, что светодиоды можно использовать для беспроводной передачи данных. Эта технология быстрее, безопаснее и дешевле любых других типов беспроводной связи [1]. Кроме того, она применима в случаях, когда радиосвязь невозможно использовать или где она в принципе недоступна, к примеру, на больших глубинах под водой или в полете.

Суть изобретения Хааса заключается в способе модулирования сигналов: информация, закодированная в луче света от полупроводниковых светодиодов, передается с помощью огромного числа изменений интенсивности свечения, происходящих со сверхвысокой частотой 100 миллионов циклов в секунду или 100 МГц. Фотоэлемент фиксирует эти мельчайшие изменения и преобразует их обратно в цифровой сигнал [2].

В лабораторных условиях удалось добиться максимальной скорости передачи данных в 123 Мбита в секунду, в ближайших планах – скорость 600 Мбит в секунду. Немецкие исследователи из Берлинского института Генриха Герца уже достигли скорости 800 Мбит в секунду. Для сравнения,

очень немногие операторы беспроводных сетей могут предложить скорости, превышающие 100 Мбит в секунду.

Заметим, что в перспективе Li-Fi может стать недорогой альтернативой беспроводным сетям Wi-Fi. Теоретически для регистрации Li-Fi-импульсов смогут применяться камеры смартфонов, планшетов, ноутбуков и других гаджетов.

Однако у Li-Fi есть очень серьезное ограничение: передатчик и приемник данных должны находиться в зоне прямой видимости друг друга.

Тестирование Li-Fi «в реальном мире» провела эстонская компания Velmenni, установив оборудование в нескольких офисах и производственных помещениях в Таллине. Скорость передачи данных составила 1 гигабит в секунду – большинство обычных сетей Wi-Fi сегодня в среднем показывают около 10 мегабит в секунду.

По мнению генерального директора, Velmenni Дипака Соланки, в ближайшие три-четыре года, основываясь на успехе пилотных проектов, технология Li-Fi сможет получить широкое распространение в различных направлениях.

Ученые считают, что распространение Li-Fi не приведет к исчезновению Wi-Fi. Оборудование Li-Fi будут устанавливать там, где это возможно и оправданно, с целью повышения скорости передачи данных, а устройства – от настольных ПК до смартфонов и носимой электроники – смогут «бесшовно» переключаться между сотовыми сетями, Wi-Fi и новым «световым интернетом»

Как известно технология Li-Fi рассматривается и как метод передачи данных при медицинских исследованиях. Команде южнокорейских исследователей удалось при помощи видимого света передать данные электроэнцефалографа на полуметровое расстояние.

Внедрение беспроводной передачи данных от датчиков, установленных на теле пациента, к медицинскому оборудованию могло бы решить достаточно серьезную проблему с обилием проводов во время проведения операции или других процедур [3]. При этом внедрению таких технологий препятствует возможность влияния электромагнитных помех на передачу информации. Вследствие этого группа исследователей из Южной Кореи предложила использовать для этих целей технологию Li-Fi.

Команде удалось при помощи видимого света передать показания электроэнцефалографа на расстояние около 50 сантиметров. Исследователи описали свою работу в IEEE Sensors Journal. Инженер национального университета Pukyong в Пусане Ен Хо Чунг (*Yeon Ho Chung*) отметил, что Li-Fi – это очень дружественное средство передачи биомедицинских сигналов в больнице.

Сигналы от ЭЭГ, который измеряет активность мозга, относительно слабые. По словам Чунга, величины напряжения при этом изменяются от 0,5 до 100 милливольт, и частот – между 0,5 и 45 Гц. Слабость сигналов требует

от инженеров, сначала обеспечить их достаточное усиление, чтобы воспользоваться красным, зеленым и синим светодиодами, которые они используют, чтобы передавать данные.

Передача по одному каналу может привести к искажению сигнала. Для борьбы с этим, команда использовала цветные фильтры и фотодиоды, соответствующие каждому из трех светодиодных цветов. Сравнение сигналов на каждом из трех фотодиодов позволили им выбрать биты, которые, наиболее вероятно, будет правильными. Устранение ошибок при передаче, по словам Чунга, имеет решающее значение для получения реальных показателей мозговой деятельности.

Другие исследователи из Университета Pukyong уже продемонстрировали Li-Fi передачу данных ЭКГ. Команда Чжуна намерена использовать данную технологию для электроокулографии, которая предполагает измерение движения глаз и может быть использована для того, чтобы парализованные люди могли управлять компьютером. Беспроводная передача от медицинских приборов также освобождает пациентов, так как они могут передвигаться, а не привязаны к одной точке [4]. И с помощью света, а не радиочастот позволяет избежать помех.

Атмосферно-оптические линии связи также применимы и для военной промышленности, особенно в качестве повышения защиты передачи данных, на сетях доступа военного назначения, технология Li-Fi (VLC) может дать большие преимущества над другими видами и системами передачи данных. Применение данной технологии дает такие качества как:

- мобильность системы передачи данных;
- возможность монтажа АОЛС в труднодоступных местах;
- быстроту развертывания линии и настройку;
- закрытые и защищенные от обнаружения и перехвата беспроводные каналы связи для объектов атомной, военной инфраструктуры или других специальных объектов, где требуется максимальная защита от возможного обнаружения, перехвата и постановки различных электромагнитных помех;
- гибкость системы для модернизации, особенно в качестве «последней мили» для объединения разных видов систем передачи данных.

Перспективы данных технологий очень велики, из-за уникальности принципов работы и возможности решений множества задач, которые не под силу другим видам беспроводной связи.

Таким образом, Li-Fi – это сравнительно новая альтернатива привычным способам передачи данных, которая работает на основе беспроводной технологии, использующей видимый свет вместо радиоволн. Данная технология в ближайшее время выйдет на массовый рынок, и если не заменит привычные сетевые коммуникации, то точно сможет работать с ними в связке, повышая эффективность передачи данных.

**Список использованных источников**

1. Rani J., Chauhan P., Tripathi R. Li-Fi (Light Fidelity) – The future technology In Wireless communication // International Journal of Applied Engineering Research. 2012. Vol. 7, No. 11. С. 19–24.
2. Visalink. Visible Light Communication Technology for Near-Ubiquitous Networking». White Paper. January 2012. pp. 35–40.
3. Gilliard R. The lifi® lamp high efficiency high brightness light emitting plasma with long life and excellent color quality. Luxim Corporation, 2012. pp. 2–3.
4. Gilliard R., DeVincentis M., Hafidi A., O'Hare D., Hollingsworth G. Operation of the LiFi Light Emitting Plasma in Resonant Cavity. 2013. pp. 15–18.

УДК 004.932.4

**ВЫДЕЛЕНИЕ ОБЪЕКТОВ  
НА ЗАШУМЛЕННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ РСА СИСТЕМ****А. А. Бахтурин, В. Ю. Волков**

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

*К современной предъявляются жёсткие требования по такой характеристике, как разрешающая способность. Для выполнения этих требований приходится использоваться УВЧ и СВЧ диапазоны, в перспективе ГВЧ. Из-за этого складывается ситуация, когда длина волны сопоставима или меньше исследуемых объектов, а сама исследуемая область имеет сильную неоднородность. Вследствие этого возникает случайная интерференционная картина, в ней присутствуют случайные сдвиги фаз и/или случайный набор интенсивностей. Такого рода шум называют спекл-шумом. Он значительно усложняет процесс получения полезной информации с изображения. Вопрос фильтрации спекл-шума является перспективным и актуальным направлением для многих направлений техники.*

*адаптивная фильтрация, когерентное накопление сигнала, пространственно-ориентированная фильтрация, радио локация, РСА, спекл-шум, спекл-структура, спекл картина.*

Изображения, получаемые радаром с РСА, обеспечивают высокое разрешение объектов (менее одного метра) при наблюдении земной или морской поверхности с самолета. Достоинством таких систем является всепогодность, работоспособность в любое время суток, а также возможность получения изображений с различных углов наклона.

Поскольку такие системы в своей основе используют когерентное накопление сигнала, изображениям, которые получают с них, им свойственно наличие специфического зернистого спекл-шума. Пример зашум-

ленного РСА изображения представлен на рис. 1. Спекл-картина свойственна как фону изображения, так и полезным объектам. Эти поля являются коррелированными и существенно негауссовскими [1, 2].

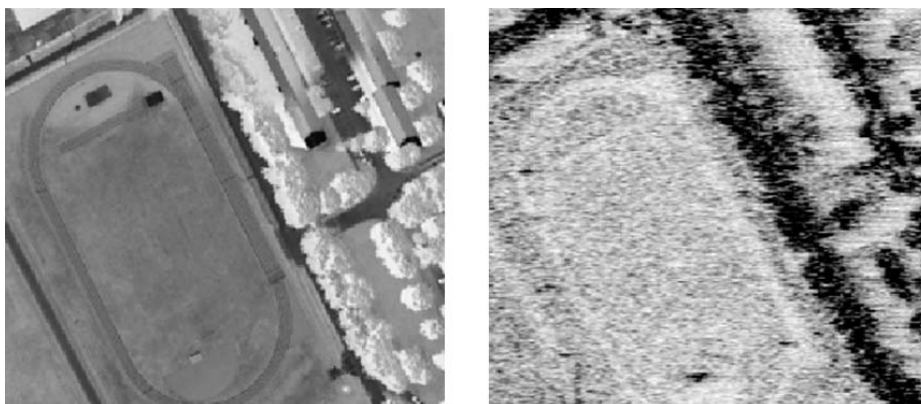


Рис. 1. Пример зашумленного РСА изображения (справа) и не зашумленного (слева)

В вышеописанных системах есть два основных пути уменьшения влияния спекл-шумов. Первый реализуется за счет проектирования систем с высокой частотной стабильностью, использование когерентного и некогерентного накопления, использования нескольких типов зондирующих сигналов и частот. Все упомянутые выше методы хорошо работают, но повышается стоимость систем, их физические размеры. Второй метод – программная обработка изображения, и при фильтрации спекл-шумов возникают новые проблемы [3, 4].

Нет универсальных и эффективных алгоритмов и структур обработки, поскольку в принимаемых изображениях имеется интенсивный и нестационарный фон, он содержит элементы, структурно подобные сигналам, отношение сигнал/фон обычно невелико, а само зарегистрированное цифровое изображение имеет невысокое качество, малое число уровней квантования, пятнистый характер и нечеткие границы элементов изображения (природные и искусственные структуры, такие как берега рек, дороги, мостов, здания) [5]. Статистика фона весьма отличается от гауссовской, распределения явно асимметричны [6, 7, 8].

Такой характер фона практически исключает использование известных методов пороговой обработки, поскольку неправильное формирование порогов может привести к потере полезных объектов на самой ранней стадии обработки. Невозможно использование и традиционных методов выделения контуров на изображениях в целях выделения природных объектов, которые основаны на формировании пространственных производных (градиентов и лапласианов), поскольку результатом будет существенный рост импульсных помех без видимого эффекта выделения качественного контура [9, 10].

Основными принципами, позволяющими решать указанную задачу, является пространственно-ориентированная фильтрация, адаптивная пороговая обработка и селекция полезных объектов по связности соседних пикселей с учетом протяженности полезных структур [11, 12]. Демонстрация эффективности данных методов представлена ниже.

Определим условия задачи. Получено цифровое изображение, в нем содержатся объекты произвольной ориентации и линейной структуры. Длина таких объектов устанавливается путем указания протяженности объекта в пикселях, указываются наименьшие и наибольшие значения для длины объектов.

Предполагается, что цели находятся в зонах изображения с низкой, ввиду того, что такие области соответствуют отражению от воды, и не могут находиться в областях с высокой интенсивностью, соответствующих отражению от земли. Помимо этих областей на изображении присутствуют местные объекты искусственного происхождения с высокой отражательной способностью: мосты, здания и сооружения. Эти объекты включают блестящие точки, интенсивность которых существенно превосходит интенсивности других объектов.

Требуется обнаружить и выделить линейные цели, а также определить их координаты в системе, связанной с изображением. Решение требуется принять по единственному входному изображению. Пример, который использовался для построения алгоритма, приведен на рис. 2.



Рис. 2. Цели выделены на изображении овалом

У приведенного выше рисунка улучшен контраст путем эквализации гистограммы, поскольку исходное входное изображение таково, что объекты интереса на нем увидеть нельзя. Изображение имеет низкое разрешение и явную пятнистую структуру, не позволяющую использовать дифференциальные методы выделения контуров, основанные на формировании градиентов. Очевидно, что недопустимо и простое сглаживание, поскольку объекты интереса являются мелкими и шумоподобными.

Общая структура обработки представлена на рис. 3. Она содержит канал пространственно-ориентированной фильтрации (верхний ряд), и канал сглаживания (нижний ряд). Канал пространственно-ориентированной фильтрации настроен на заданную ориентацию линейного объекта интереса, и реализует выделение конечных точек прямолинейного сегмента с последующей селекцией сегментов по протяженности. Число каналов выбирается так, чтобы перекрыть интервал возможных направлений ориентации сегментов. Канал сглаживания предназначен для селекции области с низким



уровнем интенсивности для учета априорной информации о возможном месте нахождения объектов интереса.

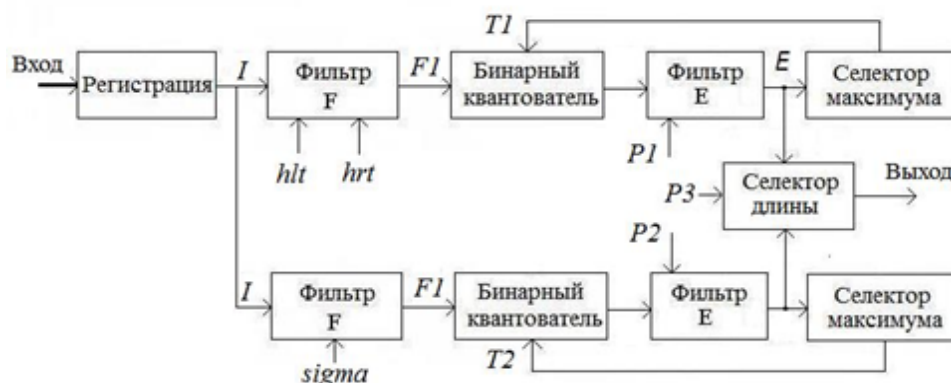


Рис. 3. Общая структура обработки изображения

При обработке используется принцип адаптивного порога, его схема изображена на рис. 4.

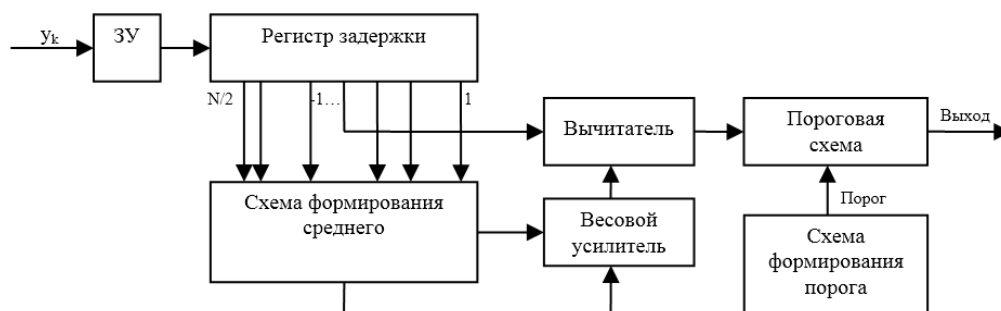


Рис. 4. Принцип адаптивного порога

Регистр задержки запоминает выборки в скользящем окне, которое окаймляет выбранный участок, пиксели в котором проверяются на предмет соответствия полезному сигналу. В данном случае формируется два скользящих окна или две маски (в каждом направлении линейного сегмента).

Поскольку пространственная ориентация линейных сегментов неизвестна, выделение целей должно осуществляться по различным направлениям, и обработка становится многоканальной. Для каждого направления формируются по две маски, повернутые на соответствующий угол, либо вращается исходное изображение. Число каналов зависит от длины масок. Чем больше каналов, тем меньше вероятность пропустить объекты интереса. При точности 1 градус необходимо иметь 180 каналов. Полное описание процесса обработки изображения описывался в [11].

Результаты обработки показаны на рис. 5. Этих результатов достаточно для счетно-решавшего устройства, чтобы определить где находится цель. Дальние исследования в этом направлении должны позволить создать универсальные алгоритмы обработки зашумленных изображений большего

размера с большим количеством объектов, а также методом эффективной фильтрации спекл-шумов.

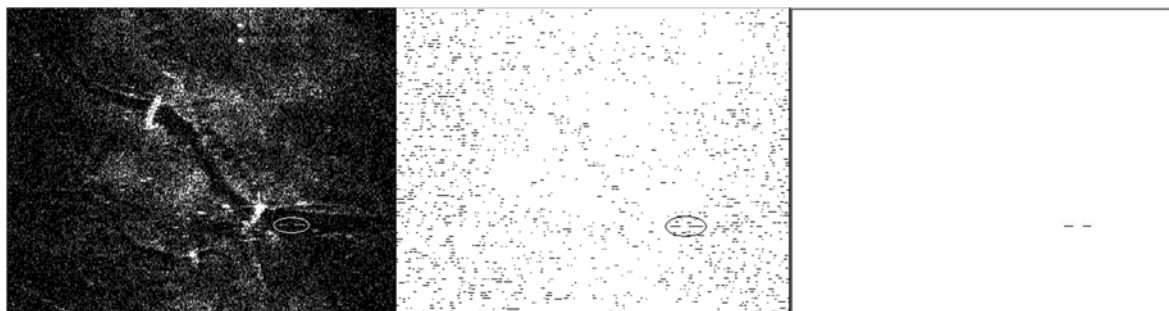


Рис. 5. Результат обработки изображения (справа) с промежуточной стадией (по середине)

### Список используемых источников

1. Cao S. J. Application of Level Set Methods in SAR Image Segmentation // NSFC-RSE Workshop on Emerging Directions in Image Processing and Understanding. University of Electronic Science and Technology of China. October 2011.
2. Wang Changlin, Zhong Xuelian. Analysis of man-made target detection in SAR imagery. Proc. 'Envisat Symposium 2007', Montreux, Switzerland 23–27 April 2007 (ESA SP-636, July 2007).
3. Gui Gao. Statistical Modeling of SAR Images: A Survey. Sensors 2010, No 10. pp. 775–795.
4. Eckart Michaelsen, Leo Doktorski, Uwe Soergel, Uwe Stilla. Perceptual Grouping for Building Recognition in High-resolution SAR Images using the GESTALT-System. Urban Remote Sensing Joint Event. IEEE 2007.
5. Olaf Hellwich, Andreas Reigber, Stephane Guillaso, Marc Jäger, Maxim Neumann, Anke Bellmann, Current Developments in Airborne SAR Remote Sensing, In: 'Photogrammetric Week 05', Dieter Fritsch, Ed., Wichmann Verlag, Berlin, Heidelberg 2005.
6. Esra Erten, Andreas Reigber, Olaf Hellwich. Generation of three-dimensional deformation map at low resolution using a combination of spectral diversity via least square approach. Proc. 'Envisat Symposium 2007', Montreux, Switzerland 23–27 April 2007 (ESA SP-636, July 2007).
7. Olaf Hellwich and Helmut Mayer. Extracting line features from synthetic aperture radar (SAR) scenes using a Markov random field model. In: Delogne, Paul [Ed.]: Proceedings. International Conference on Image Processing, September 16-19, 1996, Lausanne, Switzerland, 1996. Vol. III. pp. 883–886.
8. Haigang Sui, Chuan Xu, Junyi Liu, Kaimin Sun, Chengfeng Wen. A novel multi-scale level set method for SAR image segmentation based on a statistical model. International Journal of Remote Sensing. Vol. 33, Issue 17, 2012.
9. Qi Li, Bihong Fu and Yanfang Dong. Registration of radar and optical satellite images using multiscale filter technique and information measure. In: Geoscience and Remote Sensing New Achievements. Book edited by Pasquale Imperatore and Daniele Riccio, 2010.
10. Волков В. Ю. Адаптивные и инвариантные алгоритмы обнаружения объектов на изображениях и их моделирование в Matlab: учебное пособие. СПб.: Лань, 2014. 192 с.
11. Волков В. Ю. Методы дискретной фильтрации и задачи обработки изображений в радиотехнических системах наблюдения. Федер. агентство связи, С.-Петербург. гос. ун-т телекоммуникаций им. М. А. Бонч-Бруевича. СПб.: СПбГУТ, 2013. 143 с.

12. Волков В. Ю. Выделение малоразмерных объектов на изображениях, полученных РЛС с синтезированной антенной решеткой // Научная сессия ГУАП: сб. докл. в 3 ч. Ч. II. Технические науки. СПб.: ГУАП, 2016, С. 13–19.

УДК 621.396.21

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ В СИСТЕМАХ КВ РАДИОСВЯЗИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ МІМО

**П. А. Башмаков, Е. А. Исупова, Д. Д. Капралов, Д. И. Кирик**

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

*До недавнего времени, КВ связь являлась основным видом магистральной радиосвязи, однако из-за невозможности значительного увеличения пропускной способности канала и ухудшения условий распространения сигнала, системы КВ радиосвязи стали переходить в разряд резервных видов связи. Известно, что системы КВ связи характеризуются особыми условиями распространения, отличающимися значительной многолучевостью, что делает КВ диапазон идеальным кандидатом, для применения в многоантенных системах МІМО. Предыдущие исследования МІМО были сосредоточены преимущественно на беспроводной связи в диапазоне УКВ, однако уже имеющиеся экспериментальные данные, дают представление о потенциале МІМО для КВ радиосвязи, применение которой, в перспективе, позволит расширить перечень, предоставляемых конечному пользователю, современных телекоммуникационных сервисов.*

*КВ радиосвязь, МІМО, повышение эффективности передачи данных.*

Благодаря особенностям распространения сигнала в диапазоне коротких волн, в частности возможности передачи данных на дальние расстояния, до недавнего времени, КВ связь являлась основным видом магистральной радиосвязи, однако из-за невозможности значительного увеличения пропускной способности канала и ухудшения условий распространения сигнала, системы КВ радиосвязи уступили место системам более высокочастотных диапазонов [1].

Одним из перспективных направлений развития КВ радиосвязи, представляется использование технологии МІМО (*Multiple-input multiple-output*), применение которой потенциально может послужить толчком для достижения новых рубежей в области КВ связи, будь то, например, увеличение пропускной способности или повышение помехоустойчивости и помехозащищённости радиоканала.

Хорошо известно, что одновременное применение нескольких приёмников и передатчиков, позволяет значительно улучшить спектральную эффективность канала связи без изменения энергетика сигнала или расширения полосы частот. Особенно преимущества велики в нестационарных, подверженных замираниям, каналах связи, каковыми и являются подавляющее большинство КВ систем [2]. В идеальных условиях, пропускная способность канала может увеличиваться линейно с меньшим количеством приемных/передающих антенн. Поэтому в отличие от традиционных методов, например, разнесенного приема, который традиционно борется с последствиями замираний, системы ММО, наоборот использует многолучевость для повышения эффективности радиоканала. Кроме того, чем больше декоррелирован сигнал между отдельными антенными элементами на обоих концах линии связи, тем больше преимущество.

В диапазоне коротких волн (3–30 МГц), радиоволны перемещаются далеко за пределы прямой видимости посредством однократных и многократных отражений от различных областей ионосферы. Кроме того, из-за магнитного поля Земли, отраженная волна распадается на две электромагнитные компоненты: обычную (O) и не обычную (X). Обе компоненты проходят различные пути через ионосферу и поступают на приемник как эллиптически поляризованные сигналы с противоположенным вектором вращения [3]. Фактическое количество многолучевых компонентов, соединяющих передатчик с приемником, зависит от геометрии радиолинии, частоты работы, времени суток, сезона, геомагнитной активности и количества солнечных пятен. В результате такого многолучевого и многомодового распространения, траектория распространения ВЧ-волны в ионосфере подвергается глубокому замиранию. Таким образом, специфика распространения ВЧ сигнала, делает КВ диапазон идеальным кандидатом, для применения в многоантенных системах ММО.

В настоящее время большая часть исследований в области систем ММО, сфокусирована на передаче данных на малые расстояния в диапазонах УКВ и выше, и не получила широкого распространения в диапазонах более низких частот. В зарубежных исследованиях [4] даётся прогноз, что дальнейшее повышение пропускной способности по каналам беспроводной КВ связи, возможно только за счёт использования технологии ММО. Так, в недавнем прошлом, была проведена экспериментальная кампания по изучению возможности применения технологии ММО в КВ диапазоне. Основной упор был сделан на применении гетерогенных антенных решеток, состоящих из антенн разных типов или же антенн с различной пространственной ориентацией.

Для проведения эксперимента была разработана система ММО 4×4, состоящая из четырех передающих и четырех приемных антенн, при номинальной частоте передачи в 5,2550 МГц и частотном разнесении в 10 Гц на каждой из передающих антенн. Передающий массив включал в себя:

пару ортогонально ориентированных перевернутых «V-образных» проволочных антенн (5,255010 МГц и 5,255020 МГц), портативную ромбовидную рамочную антенну (5,255030 МГц) и вертикальную штыревую антенну (5,255040 МГц). Для приемного массива была разработана трех осевая «Н-образная» гетерогенная антенная решетка, состоящая из трех ортогональных рамочных антенн (рис. 1), а на удалении около 22 м от решетки была развернута еще одна квадратная рамочная антенна. Длина плеча для каждой из антенн приемного массива составляла 1 м.

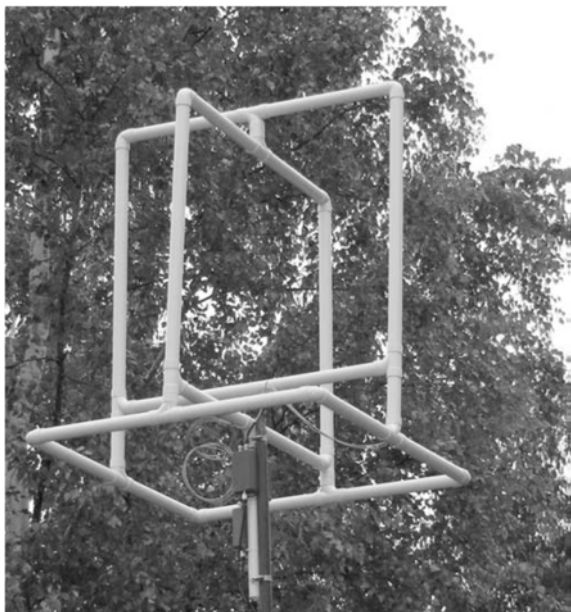


Рис 1. Трех осевая «Н-образная» гетерогенная антенная решетка

В ходе эксперимента, было осуществлено четыре одновременных передачи сигналов, несущая которых, в последствии была восстановлена на всех четырех антеннах приемного массива. Полученная АЧХ приемных антенн, указывала на глубокое замирание для всех четырех несущих. Во время передачи, с помощью ионосферного зондирования, была снята высотнo-частотная характеристика средних и верхних слоев ионосферы, которая в последствии была наложена на передаточную функцию. Полученная ионограмма (см. рис. 2), обозначила наличие нескольких компонент многолучевого распространения в течение

всего периода регистрации. Обычные и необычные моды присутствовали не только в областях 1F и 2F, но и в высоко ионизированной области E.

Для того, чтобы дать количественную оценку преимуществ использования схемы ММО, предлагается оценить пропускную способности канала (в бит/с/Гц) для различных конфигураций ММО с использованием уравнения (1) [5]:

$$C = \log_2 \left[ \det \left( I_{N_r} + \frac{p}{N_t} H H^* \right) \right], \quad (1)$$

где  $p$  – отношение сигнал / шум;  $N_t$  – количество антенн передатчика;  $N_r$  – количество антенн приемника;  $H$  – рассчитанная комплексная канальная матрица;  $H^*$  – транспонированная матрица, полученная из матрицы  $H$ .

Элементы матрицы  $H$  рассчитываются с использованием пиков преобразования Фурье принятого сигнала, затем для каждой конфигурации ММО, комплексная канальная матрица нормализуется с использованием нормы Фробениуса. Емкость канала была оценена через ОСШ в диапазоне

от 0 до 40 дБ. График оценки емкости канала связи с использованием технологий SISO и различных конфигураций MIMO представлен на рис. 3 (см. ниже).

Очевидно, что пропускная способность систем с использованием различных конфигураций MIMO, в разы превосходит результаты, полученные с использованием SISO. Так, при ОСШ порядка 30 дБ, системы с использованием SISO позволяют получить емкость порядка 10 бит/с/Гц, в то время как емкость систем с использованием системы MIMO 4x4 составляет 29,3 бит/с/Гц. Стоит отметить, что большая пропускная способность может быть получена путем взятия средней мощности нескольких несущих в данной полосе частот.

Значения пропускной способности, которые удаётся получить в настоящее время в каналах КВ радиосвязи, гораздо ниже уровня ожиданий конечного пользователя. Для того, чтобы преодолеть установившийся барьер, необходимы качественно новые подходы к организации линии КВ радиосвязи. Одним из таких подходов, может стать применение технологий MIMO. Предыдущие исследования MIMO были сосредоточены преимущественно на беспроводной связи в диапазоне УКВ, однако уже имеющиеся экспериментальные данные, дают представление о потенциале и неценности MIMO для КВ радиосвязи, применение которой, в перспективе, позволит расширить перечень, предоставляемых конечному пользователю, современных телекоммуникационных сервисов.

#### Список используемых источников

1. Радько П. Н. Моделирование и оптимизация параметров систем связи, использующих многолучевую среду распространения сигналов : дис. ... канд. физ.-мат. наук: 05.13.19 / Сидоров Борис Борисович. Воронеж, 2011. 173 с.
2. Foschini, G. J. (1996), Layered space-time architecture for wireless communication in a fading environment when using multi-element antennas, Bell Lab. Tech. J., 1 (2), pp. 41–59. DOI:10.1002/bltj.2015.
3. Abbasi N. M. An experimental investigation into the feasibility of MIMO techniques within the HF band : PhD dissertation : Nasir Mehmood Abbasi. University of Leicester, 2011. 137 p.
4. Gunashekar, S. D., Warrington, E. M., Salous, S., Feeney, S. M., Abbasi, N. M., Bertel, L., Lemur D., and Oger, M. (2009) Investigations into the feasibility of multiple input multiple output techniques within the HF band: Preliminary results, Radio Sci., 44, RS0A19, DOI:10.1029/2008RS004075.

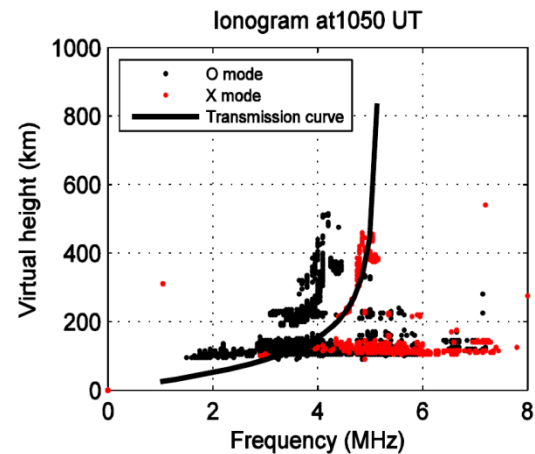


Рис. 2. Ионограмма средних и верхних слоев ионосферы

5. Razavi-Ghods, N., Abdalla, M., and Salous, S. (2004) Characterisation of MIMO propagation channels using directional antenna arrays, paper presented at Fifth International Conference on 3G Mobile Technologies, Ind. Electron. Eng., London.

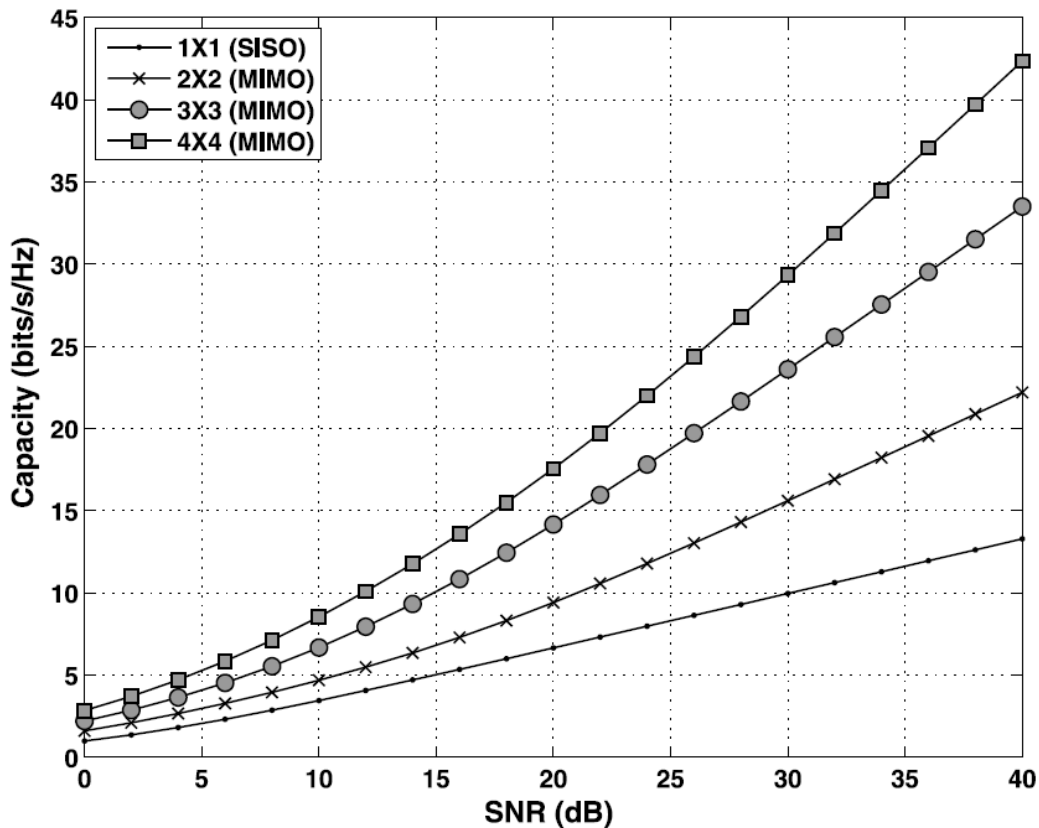


Рис. 3. Оценка емкости канала для MIMO систем различной конфигурации

УДК 621.396.21

## АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОВОРОТА СОЗВЕЗДИЙ СИГНАЛОВ В СИСТЕМАХ МОБИЛЬНОГО ВЕЩАНИЯ DVB-NGH

П. А. Башмаков, Д. Д. Капралов, Д. И. Кирик

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

*В данной статье оценивается потенциальная эффективность, которую можно получить за счет поворота созвездий в DVB-NGH – стандарте мобильного вещания следующего поколения. Повернутые созвездия используют концепцию пространственного разнесения сигналов, чтобы увеличить порядок разнесения битового перемежения мо-*

дуляции кодера за счет более высокой сложности демодуляции без необходимости передачи дополнительной мощности или расширения пропускной способности. Двумерные повернутые созвездия первоначально были включены в DVB-T2 (наземное вещание 2-го поколения) для улучшения приема в условиях замираний. В DVB-NGH используется те же двумерные повернутые созвездия, что и в DVB-T2, и включает в себя четырехмерные повернутые созвездия при определенных параметрах. Результаты анализа показывают, что поворот созвездий имеет важное значение для повышения эффективности систем передачи и обработки данных в канале с замираниями.

битовое перемежение модуляции кодера, DVB-NGH, DVB-T2, долговременное перемежение, повернутые созвездия, частотно-временное перемежение, пространственное разнесение сигналов.

### *Стандарт мобильного вещания DVB-NGH*

Объединение методов разнесения является ключевым фактором для повышения устойчивости приема и расширения зоны охвата в следующем поколении мобильных телерадиовещательных систем [1]. В настоящее время битовое перемежение модуляции кодера (BCIM) и мультиплексирование с ортогональным частотным разделением каналов (OFDM) являются наиболее предпочтительным вариантом для наземного мобильного телерадиовещания. Эти системы основаны на сочетании прямой коррекции ошибок (FEC) с перемежением для разнесения в частотной и временной областях [2].

Стандарт DVB-T2, использует коды с малой плотностью проверок на четность (LDPC-код), а также двумерные повернутые созвездия (2DRC) [3]. Применение LDPC-кодов обеспечивает выигрыш в 1 дБ для границы Шеннона в АБГШ [4], тогда как использование 2DRC улучшает устойчивость приема в каналах с замираниями. В частности, различные передатчики в зоне прямой видимости могут создавать перекрестную помеху за счет сигналов от разных передатчиков в одночастотной сети (SFN), что может привести к наличию глубоких замираний в АЧХ канала. Эти замирания могут подавить значительную часть поднесущих и снизить возможности декодирования, даже если среднее отношение мощности, несущей к шуму (ОИШ) превышает порог приема [5].

В стандарте DVB-NGH, по сравнению с DVB-T2, основное улучшение устойчивости приема достигнуто включением временного, частотного и поляризационного разнесения посредством перемежения на длительных интервалах времени (TI), частотно-временного разделения (TFS) и перекрестной поляризации MIMO [6]. Во временной области замирание сигнала приводит к его обрыву вследствие попадания в тень и обуславливает к потере информационных пакетов, в то время как в частотной области наличие интерференции от соседних сетей, вызванное использованием в канале распространения передатчиком и приёмником близких частот, вызывает потерю каналов [7].



*Повернутое созвездие в DVB-NGH*

ВКСМ модуляция в стандарте DVB-NGH основана на подмножестве составляющих взятых из стандарта DVB-T2. На уровне FEC в DVB-NGH принят набор LDPC-кодов со скоростью кодера равномерно распределенной между  $1/5$  и  $11/15$ , а среди созвездий унаследовано то же 2DRC от DVB-T2 для составляющих с использованием созвездий QPSK, 16-QAM и 64-QAM, и также включена 4DRC для составляющих, использующих QPSK и скоростью кодера выше чем  $1/2$ .

В DVB-NGH применяется сочетание блочного и свёрточного перемежения на длительных интервалах времени на физическом уровне. Блочное перемежение выполняется в течение сотен миллисекунд для того, чтобы достичь равномерного распределения информационных значений внутри фрейма. Свёрточное перемежение выполняет межкадровое разнесение до нескольких секунд. При использовании частотно-временного разделения (TFS), фреймы уплотняются по нескольким радиоканалам путем скачкообразной перестройки частоты и временного интервала.

В случае двумерного повернутого созвездия, и  $I$  (синфазная), и  $Q$  (квадратурная) составляющие несут двоичную информацию, и таким образом появляется возможность восстановить информацию, даже если одна из этих двух составляющих является ошибочной или стирается. В случае четырехмерного повернутого созвездия поворот был применен для уменьшения вероятности битовой ошибки на физическом уровне в Релеевских каналах, как показано на рис. 1.

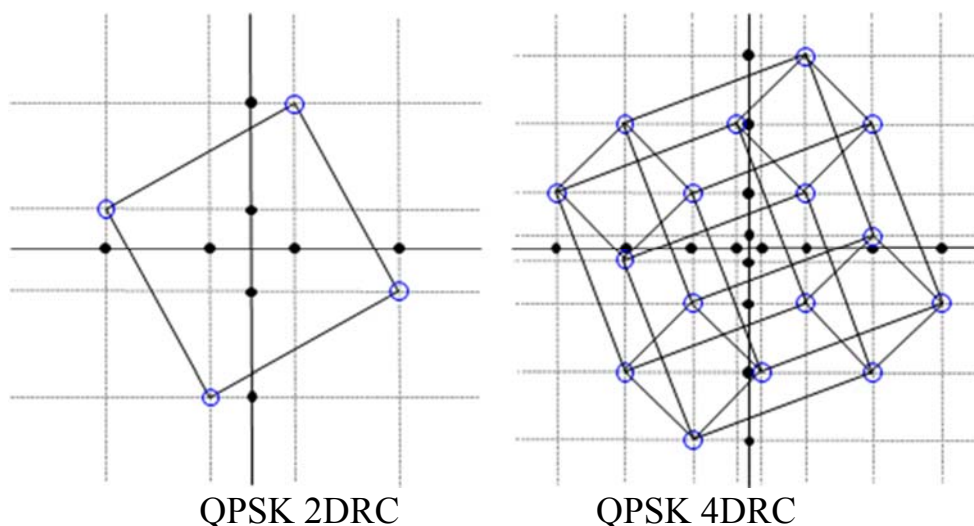


Рис. 1. Двумерное и четырехмерное повернутые созвездия в стандарте DVB-NGH

### Применение теоретико-информационного подхода

Для того, чтобы оценить производительность разнесения битового перемешивания модуляции кодера ВСМ, необходимо принять теоретико-информационный подход, основанный на понятии взаимной информации (MI). Предполагается, что известно полное информационное состояние канала (CSI) со стороны приемника, тогда  $D$ -мерный принимаемый сигнал  $y$  в плоскости замирающего канала определяется как:

$$y = Hx + w,$$

где  $x = [x_1, x_2, \dots, x_D]$  – отраженное значение,  $H = \text{diag}(h_1, h_2, \dots, h_D)$  – матрица канала с независимыми затухающими коэффициентами, и  $w = [w_1, w_2, \dots, w_D]$  – вектор шума с независимыми и одинаково распределёнными (i.i.d.) круговыми симметричными составляющими Гауссовских элементов с нулевым средним значением и дисперсией  $\sigma_w^2$ .

В этом случае мощность, полученная при помощи битового перемешивания модуляции кодера,  $C_{\text{ВСМ}}$ , может быть вычислена как взаимная информация  $I$  между набором переданных кодовых битов  $c_l$ ,  $l = 1, \dots, m$  и полученным сигналом  $y$ , обусловленным матрицей канала  $H$ , с независимыми и одинаково распределёнными (i.i.d.) кодовыми битами, которая определяется как [2]:

$$C_{\text{ВСМ}} = \sum_{l=1}^m I(c_l; y|H) = m - \sum_{l=1}^m E_{x,y,H} \left\{ \log_2 \frac{\sum_{x' \in \Psi} f(y|x', H)}{\sum_{x' \in \chi_l^b} f(y|x', H)} \right\}, \quad (1)$$

где  $b \in \{0,1\}$  является равновероятным и  $\chi_l^b$  обозначает совокупность повернутых значений в  $D$ -мерном повернутом созвездии  $\Psi$  для которой кодировка бита  $c_l$  равна  $b$ .

Следует отметить, что для данной совокупности со спектральной плотностью  $m$ , мощность ВСМ определяет скорость кода прямой коррекции ошибок  $R_c$ , который необходим для достижения безошибочной связи для любого значения отношения мощности несущей к шуму (ОНШ). В частности, скорость кода может быть получена из емкости ВСМ как  $R_c = C_{\text{ВСМ}}/m$ . Используя выражение (1), рассчитывается скорость кодирования для широкого диапазона значений ОНШ с 4DRC, 2DRC и не повернутым созвездием в н.о.р. Релеевским каналом. Это означает, что каждая составляющая  $h_i$  матрицы канала  $H$  моделируется с постоянной фазой и Релеевской амплитудой.

### Результаты моделирования физического уровня

Для анализа 2DRC и 4DRC в DVB-NGH, проведено моделирование физического уровня. В соответствии с методикой, используемой в процессе стандартизации DVB-NGH, при моделировании используется идеальный

канал и прием по критерию максимальной апостериорной вероятности (рис. 2).

Стоит обратить внимание, что усиления повернутых созвездий с внутрискруктурным перемежением очень похожи на теоретико-информационные значения. Это объясняется тем, что с перемежением во временной области в порядке сотен миллисекунд повернутые созвездия могут только мешать присутствию постепенного появления полученного сигнала.

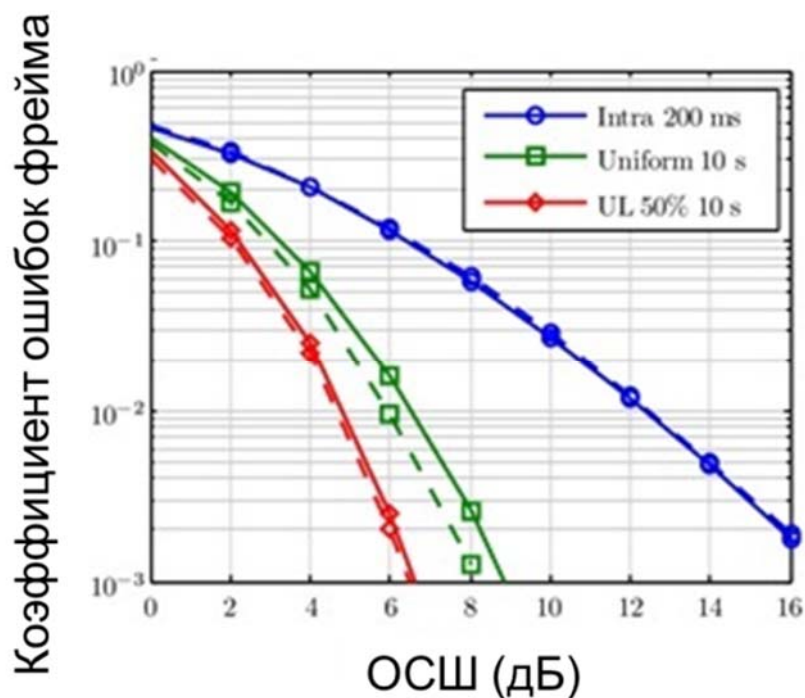


Рис. 2. Реализация DVB-NGH с различными конфигурациями перемежения на длительных интервалах времени (TI) в TU6 канале с затуханием ( $f_d = 33$  Гц,  $\sigma = 5,5$  дБ и  $d_{corr} = 20$  м). Кривые с коэффициентом ошибки фрейма (FER) с QPSK 1/3. Штриховые линии обозначают 2DRC, а точечные 4DRC

На левой стороне рис. 3 наблюдаем, что кривые с коэффициентом ошибки фрейма (FER) соответствуют первому, второму и четвертому каналу с  $f_s = 100$  МГц. Поэтому степень перемежения в частотной области составляет 8 МГц, 100 МГц и 300 МГц, соответственно. Необходимо отметить, что, как и с TI, использование повернутых созвездий с TFS улучшает производительность DVB-NGH с кодовой скоростью всего 1/3.

Для того, чтобы увеличить мощность при разнесении TI и TFS во временных интервалах и частотных областях, повернутые созвездия могут использоваться, чтобы понизить затухание в системах DVB-NGH. На левой стороне рис. 3 наблюдается устойчивость приёма после получения первого информационного фрейма (время затухания ниже, чем 1 с), когда продолжительность перемежения составляет 10 с. На правой стороне рис. 4 срав-

нение производительности не повернутых созвездий и 2DRC согласно времени затухания, когда продолжительность перемежения составляет 10 с. Чем дольше время затухания, тем ниже CNR, которое требуется, чтобы декодировать сообщение, поскольку больший процент информации доступен на стороне приемника. На рис. 4 видно, что повернутые созвездия очень полезны для включения короткого времени затухания в DVB-NGH, даже для уровней кода всего 1/3. Например, использование 2DRC понижает приблизительно на 2 с минимальное время уничтожения, которое возможно с универсальной формой и 30 %-ми конфигурациями uniform-late (UL).

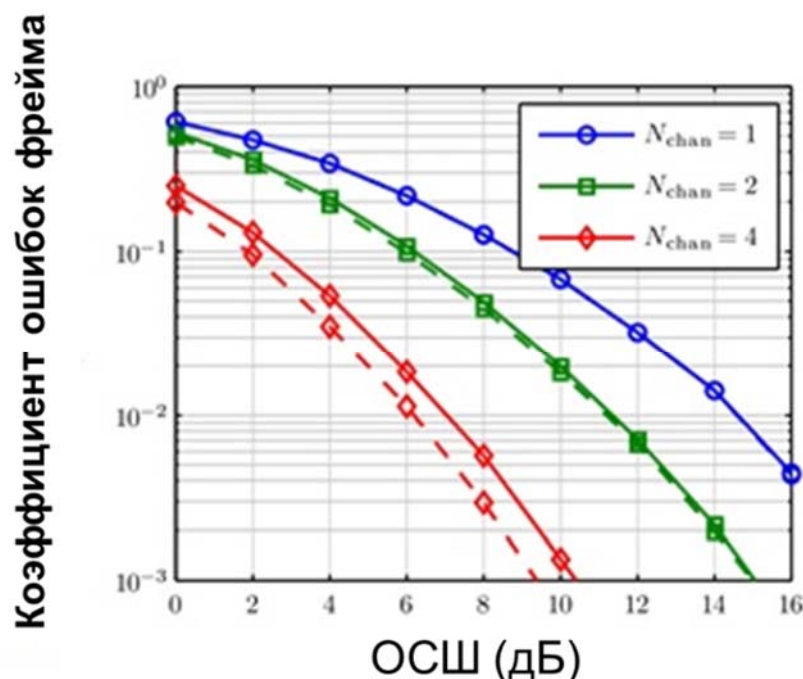


Рис. 3. Реализация DVB-NGH с различными конфигурациями частотно-временного разделения (TFS) в TU6 канале с затуханием ( $f_d = 33$  Гц,  $\sigma = 5,5$  дБ,  $d_{corr} = 20$  м и  $f_s = 100$  МГц). Кривые с коэффициентом ошибки фрейма (FER) с QPSK 7/15. Штриховые линии обозначают 2DRC, а точечные 4DRC

### Заключение

Информационно-теоретические результаты и моделирование физического уровня показывают, что повернутые созвездия увеличивают устойчивость ВСИМ против уничтожения кодов. С одной стороны, это улучшает устойчивость приема ПИ и TFS против наличия сбоев в сигнале в определенный интервал времени и частотной области. С другой стороны, это может уменьшить время затухания с ПИ на несколько секунд.

Моделирование физического уровня показывает, что поворот созвездий эффективен при скоростях кодов больше  $\frac{1}{2}$ , в то время как при низких скоростях кодирования (меньше  $\frac{1}{2}$ ) эффективнее без поворотов созвездия.

Результаты показывают, что четырехмерное повернутое созвездие более эффективно, чем двумерное при кодах со скоростями больше  $\frac{1}{2}$  в случае QPSK. Преимущество четырехмерного над двумерным повернутым созвездием зависит от глубины перемежения символов и типа, а также числа частотных каналов, используемых в частотно-временном разделении.

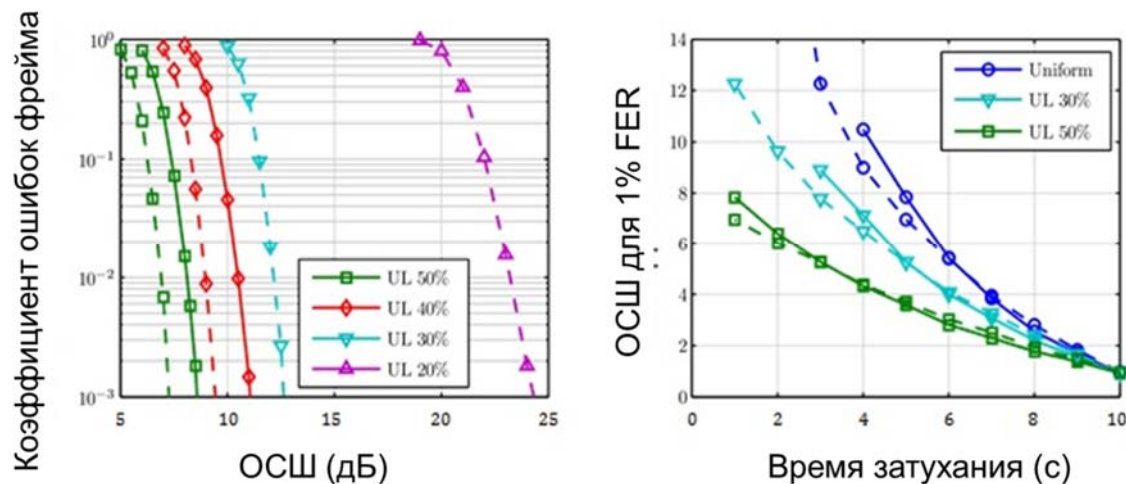


Рис. 4. Реализация затухания DVB-NGH (QPSK 1/3) с различными конфигурациями перемежения на длительных интервалах времени (продолжительность перемежения 10 с) в TU6 канале ( $f_d = 33$  Гц). Слева кривые с коэффициентом ошибки фрейма (FER) с QPSK 7/15. Справа усиление повернутых созвездий с QPSK. Штриховые линии обозначают 2DRC, а точечные 4DRC

#### Список используемых источников

1. Selgert F. Commercial requirements for DVB-NGH, DVB Document CM-NGH015R1, 2009.
2. Boutros J. and Viterbo E. Signal space diversity: A power and bandwidth efficient diversity technique for the rayleigh fading channel. IEEE Transactions on Information Theory, vol. 44, no. 4, pp. 1453–1467, 1998.
3. Frame structure channel coding and modulation for a second-generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2), ETSI Std. EN 302 755, Rev. 1.2.1, 2011.
4. Eroo M., Sun F. W., and Lee L. N. An innovative low-density parity check code design with near-shannon-limit performance and simple implementation. IEEE Transactions on Communications, vol. 54, no. 1, pp. 13–17, 2006.
5. Implementation guidelines for a second-generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2), ETSI Std. TR 102 831, Rev.0.10.4, 2010.
6. Gomez-Barquero D. Next Generation Mobile Broadcasting. CRC Press, 2013.
7. Makni M., Robert J., and Stare E. Performance analysis of time frequency slicing // In ITG Conference on Electronic Media Technology (CEMT'11), Dortmund, Germany, Mar. 2011.

УДК 654.197

## ПРОБЛЕМА ЭФФЕКТИВНОСТИ ВОСПРИЯТИЯ ИНФОРМАЦИИ В ОБУЧАЮЩИХ ВИДЕОФИЛЬМАХ

**Е. В. Белова, А. Н. Бучатский, Я. В. Евстафьева**

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

*В статье рассматриваются психологические и технические аспекты восприятия информации в обучающих видеофильмах. На примере разнообразных психических процессов показаны параметры видеофильмов, влияющие на эффективность их восприятия. Определена актуальность изучаемой темы, а также перспективы дальнейших эмпирических исследований.*

*обучающие видеофильмы, дистанционное обучение, эффективность восприятия, эффективность обучения.*

С каждым годом все большее количество вузов и образовательных центров прибегают к видеофильмам как к одному из эффективных видов дистанционного оффлайн обучения. Обеспечение студентов комфортной, безопасной с точки зрения видеоэкологии визуальной информацией является актуальной комплексной задачей. Данная задача связана с исследованиями параметров технических устройств, отвечающих за согласование характеристик сигналов и параметров зрительных и слуховых органов чувств пользователей видеофильмов. Создание видеофильмов также подразумевает разработку комплексных методов контроля, гарантирующих достижения оптимального результата при демонстрации видеоряда.

Следует отметить несколько особенностей современных образовательных технологий. Во-первых, современные технологии дистанционного образования и OpenSources активно развиваются в последние годы [1]. При этом, в сфере образовательных стартапов наблюдается рост инвестиций: так проекты Udemy, ASHIEVE3000, TutorGroup и другие становятся популярными потому, что говорят на языке потребителя (молодежи поколения Z), который за короткий срок стремится приобрести максимально полезные кванты информации в интерактивной форме. Так, по прогнозам NMC Horizon-2016 [2], в ближайшие четыре года ведущими вузами будут внедрены следующие перспективные технологии обучения: технологии с применением личных мобильных устройств, технологии адаптивного обучения, технологии дополненной и виртуальной реальности, творческие пространства и мастерские и др.

Во-вторых, остаются до конца неизученными вопросы эффективности дистанционных образовательных ресурсов [3, 4]. Так, само определение понятия «дистанционное образование», а также классификации видов технологий ДО остаются дискуссионными. Более того, эффективность СДО можно рассматривать с разных ракурсов: с точки зрения эффективности применения дистанционных технологий в образовании в целом; с точки зрения соотношения целей данных образовательных ресурсов и технических средств, с помощью которых создаются и воспроизводятся данные ресурсы. Следует отметить, что и сами критерии оценки, которые используют для характеристики дистанционных ресурсов, также разнообразны. На примере популярных сегодня видеолекций для сужения поля исследования в данной статье рассматриваются психологические и технические барьеры, снижающие эффективность дистанционного офлайн обучения среди студентов.

Данные особенности технологий дистанционного образования обуславливают актуальность темы исследования.

Центральным когнитивным процессом при обучении является процесс восприятия, оценка эффективности которого связана с моделированием параметров сложной системы «человек-машина-среда» [5]. Вопросы характеристики зрительных и слуховых анализаторов, а также проектирования средств отображения информации при восприятии видеолекций являются междисциплинарными и рассматриваются в различных научных отраслях: инженерной, когнитивной, виртуальной и даже общей психологии. Подходом, который позволяет решить данную задачу может быть инженерно-психологический подход.

Рассмотрим подробнее характеристики зрительных анализаторов, а также специфику проектирования средств отображения информации (СОИ) применительно к разработке инженерно-психологических требований для создания видеолекций. При обучении студентов с помощью видеолекций можно рассматривать следующие психические процессы: когнитивные образные (ощущение, собственно восприятие, воображение и представление), а также сквозные процессы речи (чтения и слушания), внимания и памяти. Отдельно следует обозначить высший когнитивный процесс – мышление, на результат которого также влияют условия предъявления и характеристики видеолекции. При просмотре видеолекций также участвуют эмоции, воля и мотивация, определяя эффективность восприятия. Следует отметить, что каждый из вышеперечисленных процессов возникает при воздействии различных параметров видео. Более того, на эффективность обучения влияет не отдельный процесс, а вся цепочка когнитивных процессов, которые в итоге и определяют эффективность усвоения полученной информации: внимание–восприятие–память–мышление (как конечную цель обучения).



Рассмотрим какие параметры видео определяют эффективность простейших когнитивных процессов: ощущения и восприятия. Анализ теоретических и эмпирических исследований в данной области показал, что основными при восприятии видео являются визуальные и аудиальные модальности. В результате прохождения стадий процесса восприятия формируется перцептивный образ: на стадии обнаружения выделяется объект из фона; на стадии различения выделяются смежные объекты, а также детали объекта; на стадии опознания определяются существенные признаки объекта и производится классификация объекта. Эффективность данного процесса определяется выбором оптимального начертания знаков, скорости передачи сигналов, смены кадров и другими инженерно-психологическими показателями, которые связаны и с помехоустойчивостью восприятия.

При создании видеолекций следует учитывать диапазон чувствительности зрительных и слуховых анализаторов, интенсивность, пространственные и временные (продолжительность воздействия) характеристики стимула, а также дифференциальный и оперативные пороги различения стимулов. Данные показатели можно рассчитать для конкретных сигналов, так зависимость между величиной сигнала и величиной вызываемого ощущения представлена в основном психофизическом законе Вебера-Фехнера:

$$S = k \ln I + c,$$

где  $S$  – величина ощущения,  $k$  и  $c$  – константы,  $I$  – исходная величина стимула.

Рассмотрим кратко четыре группы характеристик зрительных анализаторов и связанные с ними характеристики сигналов. Энергетические характеристики зрительного анализатора определяются мощностью (интенсивностью) световых сигналов, к ним относятся: диапазон яркости, воспринимаемый глазом, контраст, цветоощущение. Диапазон чувствительности зрительного анализатора – от  $10^{-6}$  до  $10^6$  кд/м<sup>2</sup>, наилучшие условия – от нескольких десятков до нескольких сотен кд/м<sup>2</sup>. Видимость объектов определяется также их контрастом по отношению к фону: прямой контраст (предмет темнее фона) более эффективен, чем обратный (предмет ярче фона), при этом важны условия восприятия. Следует также учитывать сигналы с большой яркостью, вызывающие ослепленность. Для оценки эффективности определяется величина порогового контраста:

$$K_{\text{пор}} = (dB_{\text{пор}}) / B_{\text{ф}},$$

где  $K_{\text{пор}}$  – пороговый контраст;  $dB_{\text{пор}}$  – пороговая разность яркости, т. е. минимальная разность яркости предмета и фона, впервые обнаруживаемая глазом;  $B_{\text{ф}}$  – яркость фона.

Для создания оптимальных условий зрительного восприятия необходимо обеспечить требуемую яркость и контраст сигналов, а также равно-



мерность распределения яркостей в поле зрения. Наибольшую чувствительность глаз имеет по отношению к волнам в середине спектра видимого света (500–600 нм), т. е. желто-зеленого цвета. Кривая относительной видности (цветоощущения) показывает, что для одинакового зрительного ощущения для разных длин волн необходима разная мощность излучения.

Пространственные характеристики зрительного анализатора (острота зрения, поле зрения, объем зрительного восприятия) определяются воспринимаемыми размерами и местоположением объектов. Острота зрения (способность различать мелкие детали) зависит от уровня освещенности, расстояния до рассматриваемого предмета и положения относительно наблюдателя. Всё поле зрения можно разбить на три зоны: зона наиболее четкого различения деталей – центральное зрение ( $\approx 4^\circ$ ); зона ясного видения (30–35°), где возможно опознать неподвижные предметы без мелких деталей; периферического зрения (75–90°), где предметы обнаруживаются, но не опознаются.

Временные характеристики зрительного анализатора – латентный период зрительной реакции (в среднем 160–240 мс, период следования дискретных сигналов – 0,2–0,5 с), длительность инерции ощущений, критическая частота мельканий (зависит от яркости, размеров и конфигурации стимулов, при обычных условиях КЧМ лежит в пределах 15–25 Гц), время адаптации, длительность информационного поиска.

Таким образом, анализ проведенных теоретических исследований позволяет прийти к следующим выводам:

1) Изучение технических и психологических барьеров восприятия видеолекций является актуальной инженерно-психологической задачей, которая исследуется в рамках разных научных отраслей. При просмотре студентами видеолекций задействуются разнообразные психические явления: внимание, восприятие, память, мышление, а также эмоции, мотивация и др. Центральным когнитивным процессом является восприятие. При этом ключевым вопросом в условиях дистанционного образования становится восприятие сигналов визуальной и аудиальной модальностей. Эффективность данного восприятия, а значит и обучения, обусловлена, в том числе, спецификой самого сигнала (его техническими параметрами).

2) При создании видеолекций необходимо учитывать среду, в которой демонстрируется видео, т. к. сам процесс восприятия видеолекций проходит в сложной системе «человек-машина-среда». На эффективность восприятия видеолекций влияют и сами технические характеристики видео, и условия среды, в которой данные видео демонстрируются (освещенность, шум и т. д.). Данная специфика восприятия видеолекций позволяет разработать отдельно инженерно-психологические рекомендации для условий показа видеолекций и инженерно-психологические рекомендации для разработки видео, повышающие эффективность восприятия.

3) Актуальным будет также исследование критериев оценки эффективности инженерно-психологических характеристик видеолекций. Исследование данного вопроса позволит разработать соответствующие нормативные документы для подготовки видеопрограмм. Важным является и определение методов контроля и снижения зрительного утомления при просмотре электронных изображений.

4) Изучение отдельных компонентов зрительного восприятия позволяет раскрыть закономерности данного процесса, а, значит, и моделировать технические параметры видеолекций, определяющие эффективность обучения. Тем не менее, создание и показ видеолекций требуют системного подхода и учёта сложных инженерно-психологических связей системы «человек-машина-среда».

#### Список используемых источников

1. Андриянова-Качеишвили Л. Т., Белова Е. В. Медиапространство вуза как среда формирования лидерских компетенций студентов // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. V Международная научно-техническая и научно-методическая конференция, сб. науч. ст. в 3 т.; Т. 3. СПб.: СПбГУТ, 2016. С. 350–354.
2. NMC Horizon Report > 2016 Higher Education Edition [Электронный ресурс]. URL: <http://www.nmc.org/publication/nmc-horizon-report-2016-higher-education-edition/>
3. Корнетов Г. Б. История педагогики: монография / Г. Б. Корнетов. М.: АСОУ, 2013. 460 с.
4. Шарипов Ф. В. Педагогика и психология высшей школы: учеб. пособие. М.: Логос, 2012. 448 с.
5. Душков Б. А., Ломов Б. Ф., Рубахин В. Ф., Смирнов Б. А. Основы инженерной психологии / Под ред. Б. Ф. Ломова. М.: Высшая школа, 1986. 448 с.

УДК 621.372.63

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МНОГОВИТКОВОЙ ЭКРАНИРОВАННОЙ РАМОЧНОЙ АНТЕННЫ

Г. Н. Борисов<sup>1</sup>, А. В. Тумашов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ООО «СТЦ»

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

*Предлагается математическая модель экранированной рамочной антенны с N-количеством витков. Представлены схемы экранированной одно- и двухвитковой рамочной антенны. Двухвитковая рамочная антенна рассматривается как параллельно-каскадное соединение двух шестиполосников. Получена матрица Y-параметров параллельно-каскадного соединения двух шестиполосников.*

экранированная рамочная антенна, шестиполюсник, матрица  $Y$ -параметров.

Антенна состоит из  $N$  экранированных рамочных антенн, изготовленных из коаксиального кабеля и объединенных единым разрезным экраном. Места разреза кабельных рамок параллельны в общем зазоре (рис. 1), экраны кабелей соединены между собой и общим экраном [1]. Со стороны приемника кабельные рамки, могут использоваться как самостоятельные антенны, так и в комбинации.

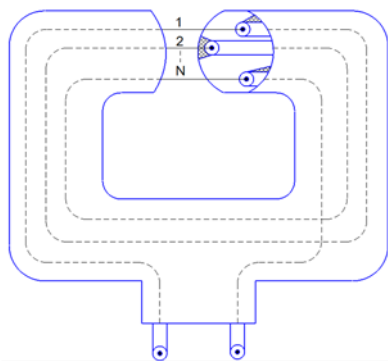


Рис. 1. Экранированная разрезная рамочная антенна

Экран рамки, выполняющий роль эквивалентного генератора с внутренним сопротивлением ( $Z_a$ ), описан в [2]. Интерес представляет разработка математической модели параметров на выходах симметричной рамочной антенны с  $N$  количеством витков.

Проиллюстрирована работа экранированной рамки в конструкции с одним коаксиальным витком (рис. 2). Падающие на рамку электромагнитные волны наводят электродвижущую силу (ЭДС) на внешнюю поверхность экрана антенны. Далее, под воздействием ЭДС, приложенной к зазору внешней поверхности экрана, ток потечёт по внутренней поверхности экрана кабеля. Ток, текущий по внутренним стенкам экрана кабеля, в свою очередь, вызовет появление противофазного тока на центральном проводнике кабеля. В результате данного процесса на зажимах приемника создается напряжение сигнала.

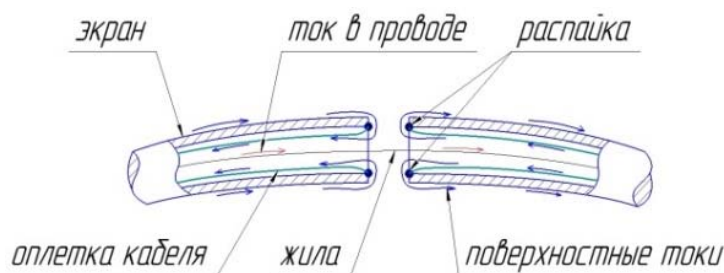


Рис. 2. Протекание токов вблизи разреза экрана

Схема одновитковой экранированной рамки представлена на рис. 3. Виток коаксиального кабеля, проложенный внутри экрана, может быть представлен как шестиполюсник, образованный двумя отрезками длинных линий (четырёхполюсниками).

Свойства шестиполюсника как системы для передачи энергии определяются соотношениями между напряжениями на его внешних зажимах, а также токами, которые проходят через эти зажимы. Соотношения, которые

связывают комплексные амплитуды напряжений и токов на парах зажимов, называют уравнениями передачи линии [3].

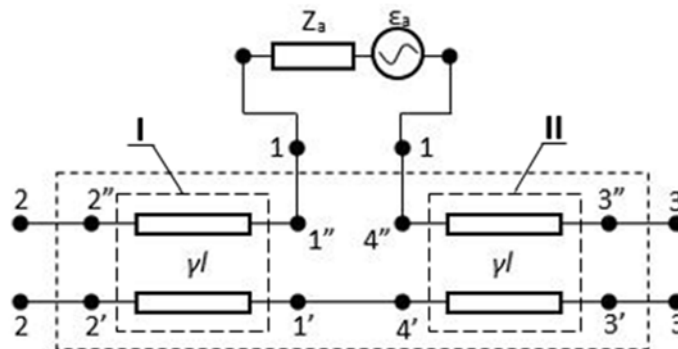


Рис. 3. Эквивалентная схема  
одновитковой экранированной рамочной антенны

Входные пары зажимов (1'1' и 4'4') одинаковых четырёхполюсников соединены последовательно. К разъёмам 1-1 шестиполюсника подключается эквивалентный генератор. Напряжения и токи на зажимах отрезков линий связаны соотношениями из [3]:

$$\begin{cases} U'_1 = i'_1 \rho \cdot \operatorname{cth}(\gamma l) + i'_2 \rho \cdot (1/\operatorname{sh}(\gamma l)); \\ U'_2 = i'_1 \rho \cdot (1/\operatorname{sh}(\gamma l)) + i'_2 \rho \cdot \operatorname{cth}(\gamma l); \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} U'_3 = i'_3 \rho \cdot \operatorname{cth}(\gamma l) + i'_4 \rho \cdot (1/\operatorname{sh}(\gamma l)); \\ U'_4 = i'_3 \rho \cdot \left(\frac{1}{\operatorname{sh}(\gamma l)}\right) + i'_4 \rho \cdot \operatorname{cth}(\gamma l), \end{cases} \quad (2)$$

где  $\rho$  – волновое сопротивление,  $\gamma$  – постоянная распространения,  $l$  – длина кабеля.

Соединение зажимов 1'1' и 4'4' накладывает граничные условия на системы (1) и (2):

$$U_1 = U'_1 - U'_4; \quad i_1 = i'_1 = -i'_4; \quad U_2 = U'_2; \quad i_2 = i'_2; \quad U_3 = U'_3; \quad i_3 = i'_3.$$

С учетом граничных условий, подставленных в уравнения (1) и (2), получим матрицу  $Z$ -параметров шестиполюсника. Обращением матрицы  $Z$ , получим матрицу  $Y$ -параметров шестиполюсника:

$$|Y| = \frac{1}{\rho} \cdot \begin{vmatrix} \operatorname{cth}(2\gamma l) & -\frac{1}{2\operatorname{sh}(\gamma l)} & \frac{1}{\operatorname{sh}(2\gamma l)}; \\ -\frac{1}{2\operatorname{sh}(\gamma l)} & \frac{1}{2} \cdot \operatorname{cth}(\gamma l) & -\frac{1}{2\operatorname{sh}(\gamma l)}; \\ \frac{1}{\operatorname{sh}(2\gamma l)} & -\frac{1}{2\operatorname{sh}(\gamma l)} & \operatorname{cth}(2\gamma l). \end{vmatrix}. \quad (3)$$

Изменение амплитуды и фазы сигнала зависит от количества витков, находящихся в экране, рассмотрим экранированную рамку с двумя витками

кабеля (рис. 4). Каждый виток описан шестиполлюсником, которому соответствует матрица  $Y$ -параметров (3). Поскольку, оплётка каждого витка коаксиального кабеля связана общим экраном антенны, а конец одного кабеля соединяется с началом другого, двухвитковую экранированную рамочную антенну можно представить, как эквивалентный генератор, подключенный к двум параллельно-каскадно соединённым шестиполлюсникам. Найдем матрицу  $Y$ -параметров суммарного шестиполлюсника.

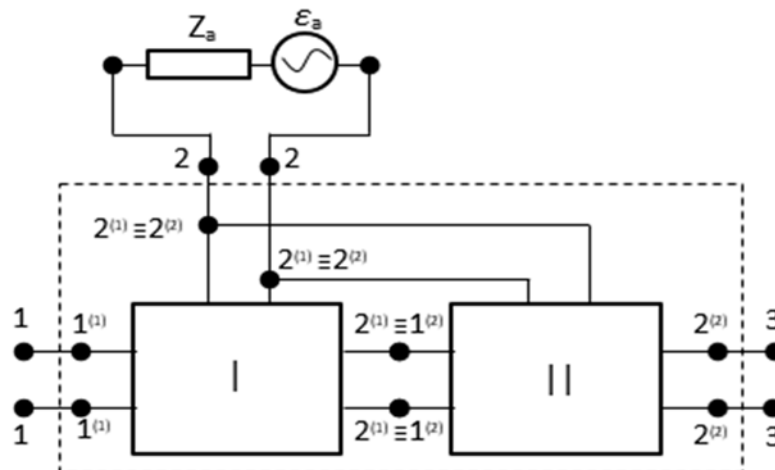


Рис. 4. Двухвитковая экранированная рамочная антенна и её эквивалентная схема

Рассмотрим соединение шестиполлюсников, представленных на рис. 4, в общем виде. Поскольку, шестиполлюсники являются взаимными, системы уравнений, связывающие токи и напряжения на зажимах двух исходных шестиполлюсников, будут выглядеть следующим образом:

$$\begin{cases} i_1^{(1)} = Y_{11}^{(1)} U_1^{(1)} + Y_{12}^{(1)} U_2^{(1)} + Y_{13}^{(1)} U_3^{(1)}; \\ i_2^{(1)} = Y_{12}^{(1)} U_1^{(1)} + Y_{22}^{(1)} U_2^{(1)} + Y_{23}^{(1)} U_3^{(1)}; \\ i_3^{(1)} = Y_{13}^{(1)} U_1^{(1)} + Y_{23}^{(1)} U_2^{(1)} + Y_{33}^{(1)} U_3^{(1)}; \end{cases} \quad (4)$$

$$\begin{cases} i_1^{(2)} = Y_{11}^{(2)} U_1^{(2)} + Y_{12}^{(2)} U_2^{(2)} + Y_{13}^{(2)} U_3^{(2)}; \\ i_2^{(2)} = Y_{12}^{(2)} U_1^{(2)} + Y_{22}^{(2)} U_2^{(2)} + Y_{23}^{(2)} U_3^{(2)}; \\ i_3^{(2)} = Y_{13}^{(2)} U_1^{(2)} + Y_{23}^{(2)} U_2^{(2)} + Y_{33}^{(2)} U_3^{(2)}, \end{cases} \quad (5)$$

где  $i_{ij}^{(1)}$ ,  $i_{ij}^{(2)}$  – токи на зажимах шестиполлюсников,  $U_{ij}^{(1)}$ ,  $U_{ij}^{(2)}$  – напряжения между соответствующими зажимами шестиполлюсников,  $Y_{ij}^{(1)}$ ,  $Y_{ij}^{(2)}$  – коэффициенты уравнений, соответствующих шестиполлюсников.

Зажимы 2-2 обоих шестиполюсников соединятся параллельно, а зажимы 3-3 шестиполюсника I каскадно подключаются к зажимам 1-1 шестиполюсника II. Указанное соединение накладывает граничные условия на токи и напряжения на зажимах шестиполюсников:

$$U_2^{(1)} = U_2^{(2)} = U_2; \quad (6)$$

$$i_2^{(1)} + i_2^{(2)} = i_2; \quad (7)$$

$$U_3^{(1)} = U_1^{(1)} = U_{13}; \quad (8)$$

$$i_3^{(1)} = -i_1^{(2)}. \quad (9)$$

Также, введем обозначения:

$$i_1^{(1)} = i_1; \quad i_3^{(2)} = i_3; \quad U_1^{(1)} = U_1; \quad U_3^{(2)} = U_3.$$

где  $i_1, i_2, i_3$  – токи на зажимах суммарного шестиполюсника;  $U_1, U_2, U_3$  – напряжения на зажимах суммарного шестиполюсника;  $U_{13}$  – напряжение на связанных зажимах.

Подставляя граничные условия (6)–(9) с учетом обозначений в системе уравнений (4), (5), получаем матрицу  $Y$ -параметров параллельно-каскадного соединения двух шестиполюсников. Элементы матрицы строк и столбцов сведены в таблице.

ТАБЛИЦА. Элементы матрицы  $Y$ -параметров

Элементы матрицы	$Y_{i1}$	$Y_{i2}$	$Y_{i3}$
$Y_{1j}$	$Y_{11}^{(1)} - \frac{(Y_{13}^{(1)})^2}{Y_{33}^{(1)} + Y_{11}^{(2)}}$	$Y_{12}^{(1)} - \frac{Y_{13}^{(1)}(Y_{32}^{(1)} + Y_{12}^{(2)})}{Y_{33}^{(1)} + Y_{11}^{(2)}}$	$-\frac{Y_{13}^{(1)}Y_{13}^{(2)}}{Y_{33}^{(1)} + Y_{11}^{(2)}}$
$Y_{2j}$	$Y_{12}^{(1)} - \frac{Y_{13}^{(1)}(Y_{32}^{(1)} + Y_{12}^{(2)})}{Y_{33}^{(1)} + Y_{11}^{(2)}}$	$Y_{22}^{(1)} + Y_{22}^{(2)} - \frac{(Y_{12}^{(2)} + Y_{23}^{(1)})^2}{Y_{33}^{(1)} + Y_{11}^{(2)}}$	$Y_{23}^{(2)} + Y_{13}^{(2)} - \frac{Y_{12}^{(2)} + Y_{23}^{(1)}}{Y_{33}^{(1)} + Y_{11}^{(2)}}$
$Y_{3j}$	$-\frac{Y_{13}^{(1)}Y_{13}^{(2)}}{Y_{33}^{(1)} + Y_{11}^{(2)}}$	$Y_{23}^{(2)} + Y_{13}^{(2)} - \frac{Y_{12}^{(2)} + Y_{23}^{(1)}}{Y_{33}^{(1)} + Y_{11}^{(2)}}$	$Y_{33}^{(1)} - \frac{(Y_{13}^{(2)})^2}{Y_{33}^{(1)} + Y_{11}^{(2)}}$

Матрица  $Y$ -параметров двух шестиполюсников, описанных на примере (3), при параллельно-каскадном соединении будет выглядеть следующим образом:

$$|Y| = \frac{1}{\rho} \cdot \begin{vmatrix} \operatorname{cth}(4\gamma l) & -\frac{1}{2\operatorname{sh}(\gamma l)} & \frac{(-1)^2}{\operatorname{sh}(4\gamma l)} \\ -\frac{1}{2\operatorname{sh}(\gamma l)} & \frac{2}{2} \cdot \operatorname{cth}(\gamma l) & \frac{1}{2\operatorname{sh}(\gamma l)} \\ \frac{(-1)^2}{\operatorname{sh}(4\gamma l)} & \frac{1}{2\operatorname{sh}(\gamma l)} & \operatorname{cth}(4\gamma l) \end{vmatrix}. \quad (10)$$

Поскольку объединяемые шестиполюсники превращаются в один общий шестиполюсник, полученные элементы матрицы (табл.) можно использовать как рекуррентные соотношения. Подставив в таблице в качестве элементов  $Y_{ij}^{(1)}$  элементы матрицы суммарного шестиполюсника, полученного параллельно-каскадным соединением  $N-1$  шестиполюсников с матрицами (3), а в  $Y_{ij}^{(2)}$  – элементы матрицы (3)  $N$ -ого подключаемого шестиполюсника, получим матрицу шестиполюсника, описывающую соединение  $N$  витков кабеля:

$$|Y|^{\Sigma N} = \frac{1}{\rho} \cdot \begin{vmatrix} \operatorname{cth}(2N\gamma l) & -\frac{1}{2\operatorname{sh}(\gamma l)} & -\frac{1}{\operatorname{sh}(2N\gamma l)} \\ -\frac{1}{2\operatorname{sh}(\gamma l)} & \frac{N}{2} \cdot \operatorname{cth}(\gamma l) & \frac{1}{2\operatorname{sh}(\gamma l)} \\ -\frac{1}{\operatorname{sh}(2N\gamma l)} & \frac{1}{2\operatorname{sh}(\gamma l)} & \operatorname{cth}(2N\gamma l) \end{vmatrix}. \quad (11)$$

С учетом соотношений, которые были приведены в [2], матрица (11) может рассматриваться как математическая модель экранированной  $N$ -витковой рамки.

Подключим к антенне приёмник ( $Z_{\text{п}} = 50$  Ом) с симметричным входом, и выполним пересчёт сопротивления ко входу эквивалентного генератора, подключенного к зажимам 2-2 соединительного шестиполюсника (рис. 5).

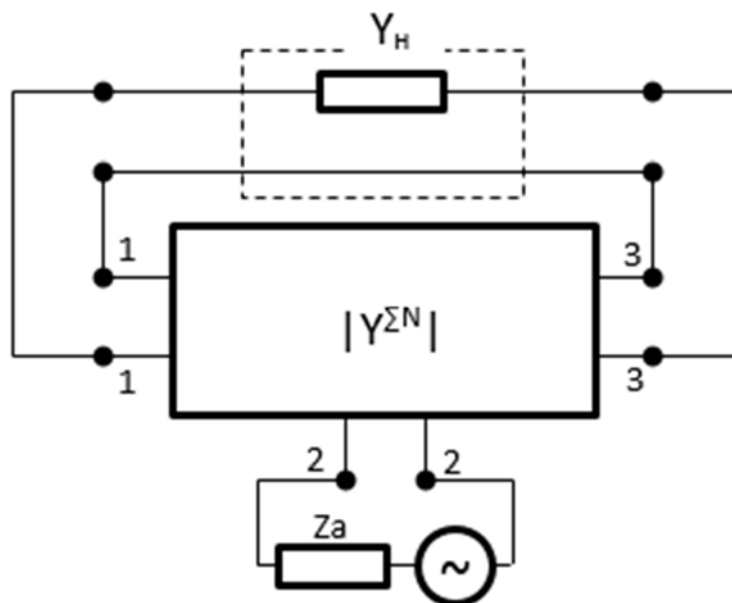


Рис. 5. Шестиполюсник нагруженный симметричной нагрузкой

По соотношениям, приведенным в [2], выполним расчет входного сопротивления экранированной 9-метровой рамочной антенны (внутреннего сопротивления эквивалентного генератора) и определим коэффициент согласования по сопротивлению для различного количества витков ( $N$ : 1, 2, 4, 8) [1]. Результаты расчёта представлены на рис. 6.

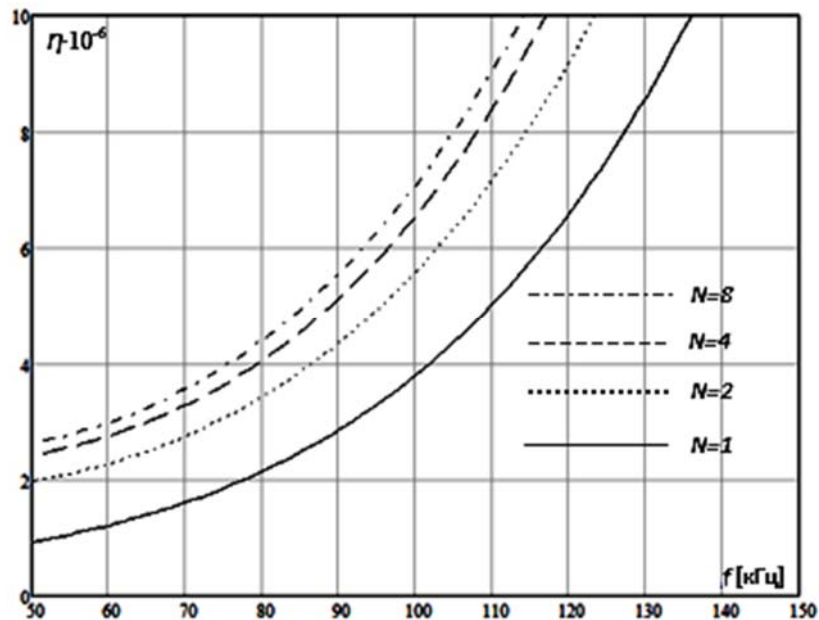


Рис. 6. Зависимость коэффициента согласования по сопротивлению от количества витков в экранированной рамке

Увеличение количества витков в экранированной рамке позволяет повысить коэффициент согласования по сопротивлению антенны с приемником (рис. 6). Однако, уже при  $N=8$ , увеличение коэффициента согласования становится менее существенным. Из этого сделаем вывод, что для данной антенны дальнейшее увеличение количества витков теряет смысл. Данная математическая модель подходит для предварительного расчёта разрезных экранированных рамочных антенн с  $N$ -количеством витков.

#### Список используемых источников

1. Гавеля Н. П., Истрашкин А. Д., Муравьев Ю. К., Серков В. П. Антенны. Часть 1. Л.: ВКАС, 1963. 142 с.
2. Кинг Р., Смит Г. Антенны в материальных средах. Том II. М.: МИР, 1984. 408 с.
3. Белецкий А. Ф. Основы теории линейных электрических цепей. М.: Связь, 1967. 608 с.

*Статья представлена научным руководителем, кандидатом технических наук, доцентом Д. И. Кириком.*



УДК 621.396.677

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

Е. Г. Борисов, О. С. Голод, С. Г. Егоров

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

*В статье рассмотрены структура и принцип действия специализированной информационной системы, предназначенной для определения местоположения работающей радиолокационной станции относительно лучей информационной системы. Приведены основные соотношения для расчета дальности и угла визирования источника радиоизлучения. Выполнено моделирование информационной системы с учетом стохастической природы информационного сигнала, поступающего на вход системы. Показано, что основными причинами ошибок в определении местоположения источника излучения являются флуктуации переднего фронта информационных сигналов, поступающих по различным лучам системы.*

*информационная система, источник излучения, случайный сигнал, местоположение.*

В настоящее время наблюдается стабильно возрастающее осложнение радиоэлектронной обстановки, что связано с продолжающимся техническим прогрессом средств радиолокации, радионавигации, связи. В этих условиях задача определения координат источника радиоизлучения становится весьма актуальной для радиомониторинга, для радиоразведки [1]. Рассмотрим трехлучевую информационную систему (ИС) предназначенную для определения местоположения обзорной радиолокационной станции (РЛС) [2]. Взаимное расположение ИС и РЛС иллюстрирует рис. 1, где ИС расположена в точке  $O$ , первый, второй и третий лучи ИС имеют одинаковую ширину  $\theta$ , углы между смежными лучами одинаковы и равны  $\psi$ . Пусть РЛС кругового обзора, расположенная в точке  $C$ , (рис. 1) имеет период вращения антенны  $T_A$ . При нахождении РЛС вне лучей ИС в моменты направления антенны РЛС на ИС, под действием зондирующих импульсов РЛС, одновременно на выходах всех лучей ИС будут появляться пачки импульсов, следующих с периодом  $T_A$ . При нахождении РЛС в пределах какого – ни будь из лучей ИС, пачки импульсов, будут приниматься приемником этого луча и иметь не менее чем на 20–30 дБ большую амплитуду, чем при нахождении РЛС в другом луче ИС или вне лучей. Измерив временной интервал от момента прохождения сканирующей антенной РЛС направления на ИС до текущего момента времени  $T_B$ , можно определить угол поворота антенны РЛС относительно направления на ИС для каждого текущего момента времени. Пусть  $\alpha_{ki}$  – угол поворота антенны РЛС

от направления на ИС до момента времени  $T_B$ , тогда  $\alpha_{ki} = \frac{2\pi T_B}{T_A}$ , где  $T_B$  – интервал времени между моментом прохождения лучом антенны РЛС направления на ИС и моментом начала измерений,  $T_A$  – период одного оборота антенны РЛС.

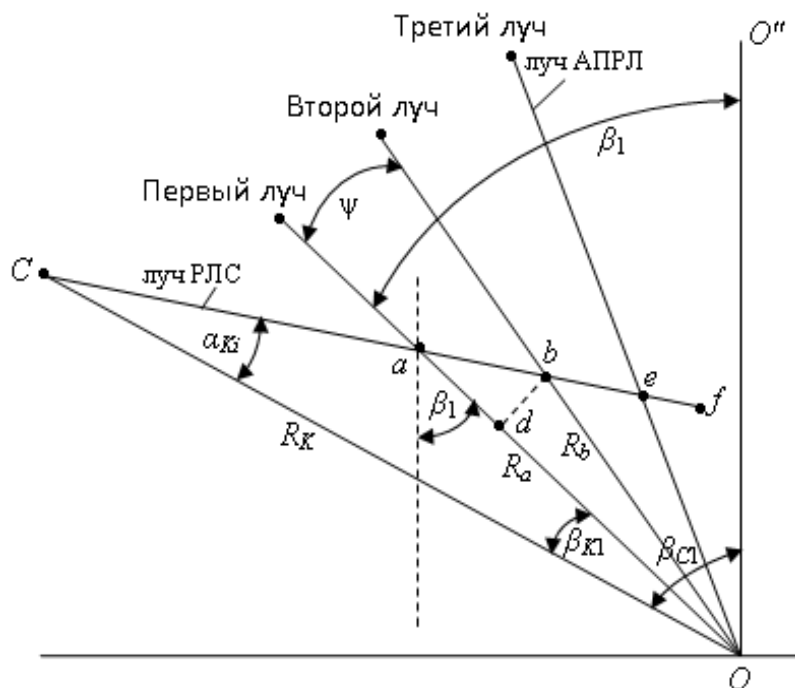


Рис. 1. Геометрическая интерпретация задачи определения местоположения источника радиоизлучения информационной системы

где  $a, b, e$  – точки пересечения направления оси антенны РЛС с границами первого, второго и третьего лучей;  $\beta_{k1}$  – угол между направлением на РЛС и наиболее удаленной от РЛС границей первого луча ИС.

Распространяясь по лучу антенны РЛС, зондирующий импульс РЛС облучает подстилающую поверхность, возникающий при этом рассеянный сигнал представляет собой узкополосный Гауссов процесс. При пересечении зондирующим импульсом любого луча ИС рассеянный подстилающей поверхностью сигнал (эхо-сигнал) принимается приемником этого луча в виде Гауссова эхо-сигнала, длительность которого равна времени движения зондирующего импульса в пределах соответствующего луча, а момент появления этого импульса (т. е. передний фронт импульса) определяется расстоянием от РЛС до границы луча, наиболее близкой к РЛС (на рис. 1 не показана). Момент окончания импульсного эхо-сигнала (т. е. задний фронт импульса) соответствует моменту выхода зондирующего импульса за границу луча ИС, наиболее удаленную от РЛС. Следовательно, рассеянный поверхностью сигнал, приходит в приемники первого, второго и третьего лучей ИС в виде импульсов Гауссовых эхо-сигналов, последовательно во времени, с задержками  $\tau_{ij}$  относительно друг

друга. Эхосигнал, рассеянный поверхностью в районе точки  $a$ , на приемник ИС придет через интервал времени  $t_a = Oa/c$ , а эхосигнал, рассеянный поверхностью в районе точки  $b$  придет на ИС через интервал времени  $t_b = (ab + Ob)/c$ . Следовательно, задержка  $\tau_{21}$  эхосигнала, принятого вторым лучом, относительно сигнала, пришедшего по первому лучу, запишется как:

$$ab + Ob - Oa = c \cdot \tau_{21}.$$

Аналогично, задержка  $\tau_{31}$  эхосигнала, принятого третьим лучом, относительно сигнала, пришедшего по первому лучу, определится как:

$$ae + Oe - Oa = c \cdot \tau_{31}.$$

Из треугольников  $\Delta Oab$ ,  $\Delta Oae$ ,  $\Delta OaC$ ,  $\Delta OSe$ , можно определить направление  $\beta_{k1}$  на РЛС относительно направления границы первого луча ИС, наиболее удаленной от РЛС:

$$\beta_{k1} = 2 \cdot \operatorname{arctg} \frac{2\tau_{21} \cos\left(\frac{\Psi}{2}\right) \cos\left(\frac{\alpha_{ki} + \Psi}{2}\right) - \tau_{31} \cos\left(\frac{\alpha_{ki} + 2\Psi}{2}\right)}{2\tau_{21} \cos\left(\frac{\Psi}{2}\right) \sin\left(\frac{\alpha_{ki} + \Psi}{2}\right) - \tau_{31} \sin\left(\frac{\alpha_{ki} + 2\Psi}{2}\right)} \quad (1)$$

и расстояние  $R_k$  от ИС до РЛС:

$$R_k = OC = Oa = \frac{c \cdot \tau_{31} \cos\left(\frac{\alpha_{ki} + \beta_{k1} + 2\Psi}{2}\right) \sin(\alpha_{ki} + \beta_{k1})}{2 \sin\left(\frac{\alpha_{ki} + \beta_{k1}}{2}\right) \cdot \sin \Psi \cdot \sin \alpha_{ki}}. \quad (2)$$

Выразим прямоугольные координаты цели исходя из данных измеряемых (соотносящихся) к первому пеленгатору:

$$X = x_0 + R_k \sin(\beta_{c1} + \beta_{k1} + \pi), \quad Y = y_0 + R_k \cos(\beta_{c1} + \beta_{k1} + \pi), \quad (3)$$

где  $y_0, x_0$  – точки стояния пеленгатора (координаты точки  $O$  на рис. 1).

На рис. 2–3 приведены результаты моделирования, выполненные по соотношениям (1), (2), для следующих исходных данных: дальность  $R_K$  до РЛС – 10 км, длительность зондирующего импульса РЛС  $\tau_{И} = 0,2$  и  $0,5$  мкс, ... и т. д.  $\beta_{k1} = 15$  град.,  $\alpha_k = 30$ – $120$  град,  $\Psi = 10$  град,  $T_A = 5$  и  $12$  сек.

На рис. 3 приведены СКО определения координат, рассчитанные по выражениям (3). Моделирование проводилось с использованием визуального программирования Mathcad, геометрия радиотехнической системы соответствовала приведенной на рис. 1.

При моделировании учитывалось, что основным источником погрешности в рассматриваемой ИС является ошибка измерения временных задержек между эхо-сигналами, принятыми 1, 2, и 3 лучами, обусловленная случайной природой каждого из сигналов. Для изучения наихудшей ситуации

предполагался закон распределения ошибки измерения  $\tau_{ij}$  равномерным в интервале  $0 - \tau_{и}$ , где  $\tau_{и}$  – длительность зондирующего импульса РЛС.

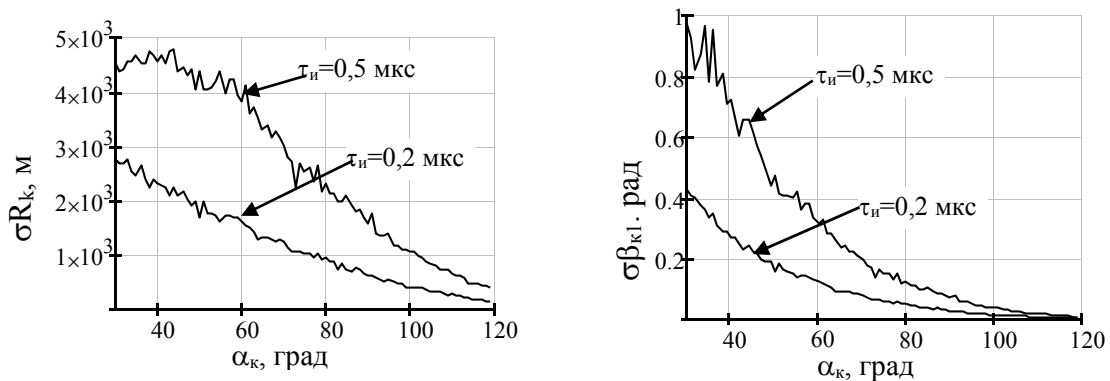


Рис. 2. Среднеквадратическая ошибка определения дальности до источника радиоизлучения информационной системы

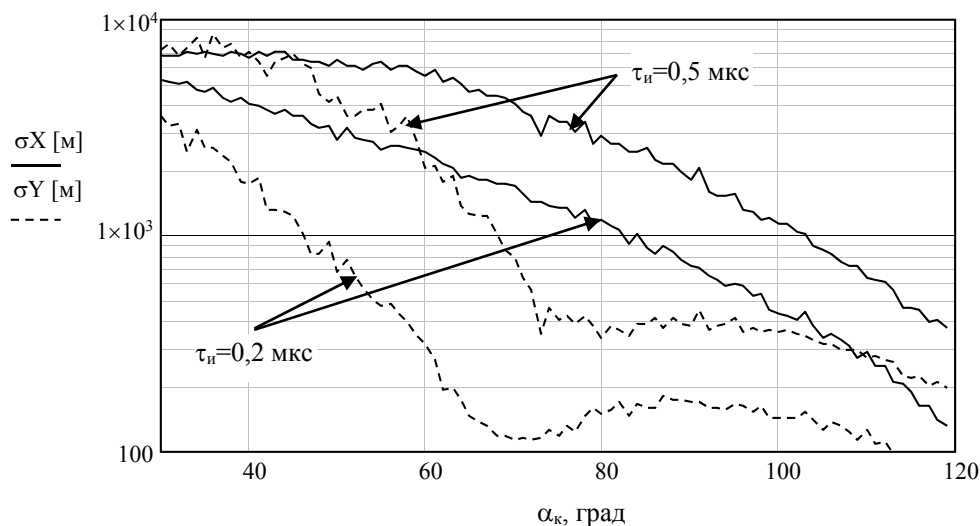


Рис. 3. Среднеквадратическая ошибка определения прямоугольных координат источника радиоизлучения информационной системы

#### Список используемых источников

1. Ашихмин А. В., Козьмин В. А., Рембовский А. М. Радиомониторинг. Задачи, методы, средства. М.: Горячая Линия – Телеком, 2006. 504 с.
2. Меньшаков Ю. К. Теоретические основы технических разведок: учеб. Пособие; доп. УМО по образованию в обл. информационной безопасности / под ред. Ю. Н. Лаврухина. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2008. 536 с.

УДК 621.396.96

## БИСТАТИЧЕСКАЯ РАДИОЛОКАЦИОННАЯ СИСТЕМА С ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫМ ИЗЛУЧАЕМЫМ СИГНАЛОМ

**Е. Г. Борисов, А. Н. Митлаш, С. С. Поддубный**

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

*В статье рассматривается вариант использования пространственно-временного сигнала в бистатической радиолокационной системе. Рассматриваемые пространственно-временные сигналы нельзя представить в виде произведения временной функции-сигнала, генерируемого передатчиком и функции пространственной переменной-диаграммы направленности передающей антенны. Использование сигналов такого типа позволяет расширить возможности бистатических радиолокационных систем по измерению координат объектов.*

*бистатическая радиолокационная система, пространственно-временной сигнал, угломерные измерения, суммарно-дальномерно-угломерный, триангуляция, точность определения координат.*

Одним из важных направлений развития радиолокационной техники является совершенствование теории и техники бистатических радиолокационных систем (БРЛС) просветного типа [1, 2, 3]. Основным достоинством просветных РЛС является возможность обнаруживать малоразмерные воздушные объекты (ВО), в том числе выполненные и по технологии Stealth [3]. Построение алгоритмов обнаружения и определения местоположения ВО в просветных РЛС зависит от вида излучаемых сигналов. Широко известны алгоритмы обнаружения и измерения координат ВО при использовании монохроматических сигналов [4, 5]. Недостатком РЛС такого типа является низкая скрытность, обусловленная использованием монохроматических сигналов, а также слабая помехозащищенность от уводящих по скорости помех. Кроме того, применение сигналов такого типа вызывает определенные трудности при измерении суммарной дальности, что в свою очередь накладывает ряд ограничений на гипотезу движения ВО.

Перечисленные недостатки отсутствуют в просветных РЛС, в которых в качестве излучаемых было предложено использовать пространственно-временной сигнал (ПВС) [6, 7]. Однако, данное построение просветной РЛС, а именно алгоритм формирования ПВС, имеет такой недостаток как неполное использование раскрыва передающей антенны. Данное обстоятельство с одной стороны является необходимым для создания ПВС, а с другой не позволяет в полной мере реализовать потенциал передающей антенны.

Уменьшить влияние этого недостатка призвано применение двухчастотных ПВС. Принцип получения таких сигналов поясняется на рис. 1 на примере формирования одновременно двух ПВС в азимутальной плоскости на двух различных несущих частотах  $f_1$  и  $f_2$  с разнесением на  $\Delta f = f_1 - f_2$  так, чтобы их спектры не перекрывались.

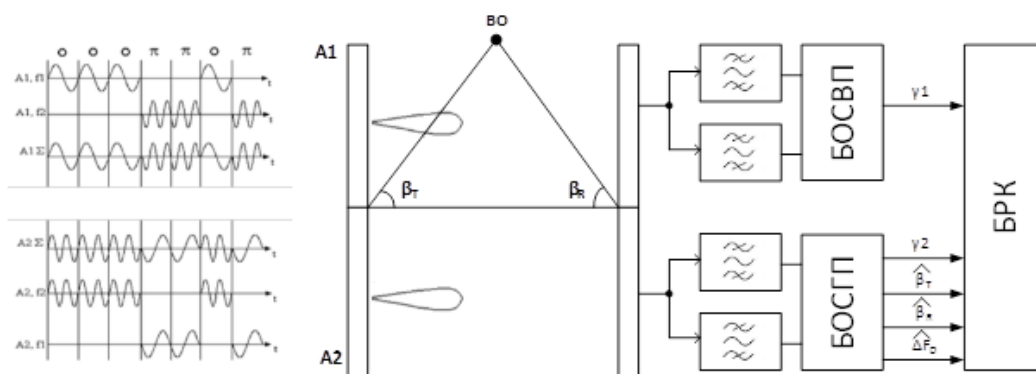


Рис. 1. Упрощенная схема РЛС с двухчастотным ПВС

Передающая антенна для излучения ПВС разделяется на две половины, каждая из которых излучает поочередно отдельные позиции фазоманипулированного (ФМ) сигнала, в соответствии с выбранным угловым кодом. Предлагается использовать двухчастотный ПВС: вовремя излучение с одной половиной антенны на частоте  $f_1$ , вторая также излучает тот же элемент импульса, но на другой несущей частоте  $f_2$ . На приемной позиции, используя поляризационную селекцию, производится разделение прямого и переотраженного ВО сигнала, оцениваются угловые координаты относительно передающей и приемных позиций. Наличие дополнительной угломерной линии положения (угол передачи « $\beta_T$ ») позволяет повысить точность определения местоположения ВО [6].

Сигналы на частотах  $f_1$  и  $f_2$ , принимаемые с направления  $\beta_R$  на выходе диаграммо-образующей схемы, формирующей диаграмму направленности (ДН) всей активной фазированной решетки (АФАР) имеют вид:

$$S_{Rf_1}(t, \beta_R) = \sqrt{P_R} F_R(\beta_R) F_T(\beta_T) U(t - t_\Sigma) \sum_{i=0}^{N-1} \beta_i H(t - i\tau_0 - t_\Sigma) \cos[2\pi f_1(t - t_\Sigma) + \Theta_0 + KU_i \varphi(\beta_T) + \varphi_{01}],$$

$$S_{Rf_2}(t, \alpha) = \sqrt{P_R} F_R(\beta_R) F_T(\beta_T) U(t - t_\Sigma) \sum_{i=0}^{N-1} \beta_i H(t - i\tau_0 - t_\Sigma) \cos[2\pi f_2(t - t_\Sigma) + \Theta_0 - KU_i \varphi(\beta_T) + \varphi_{02}],$$

где  $F_R(\beta_R)$  – множитель аппроксимирующий форму ДН приемной антенны,  $F_T(\beta_T)$  – множитель аппроксимирующий форму ДН передающей антенны,  $U(t - t_\Sigma)$  – функция амплитудной модуляции,  $t_\Sigma$  – время задержки сигнала по пути передатчик–цель–приемник,  $KU_i$  – угловой код (УК), который принимает значения  $\pm 1$ ,  $\varphi_{01}$  и  $\varphi_{02}$  – изменения начальных фаз сигналов на ча-

стотах  $f_1$  и  $f_2$  при отражении от ВО,  $\Theta_0$  – начальная фаза излучаемых сигналов,  $H(t-it_0-t_R)$  – функция единичного скачка,  $\beta_i$  – принимает значения  $\pm 1$  в соответствии с временным кодом,  $P_R$  – мощность принимаемых сигналов.

На приёмной позиции (рис. 1) полосовыми фильтрами, настроенными на частоты  $f_1$ ,  $f_2$ , выделяются сигналы на каждой несущей частоте и подаются на блоки обнаружения сигналов вертикальной (БОСВП), где производится обнаружение сигнала по прямому пути, и горизонтальной поляризации (БОСГП), где производится оценка угловых параметров ВО и обнаружение сигнала, отраженного от ВО. В предложенном выше варианте измерению подлежат только азимутальные угловые координаты ВО относительно передающей и приемной позиций.

Для увеличения точности определения местоположения ВО целесообразно проводить оценку также и их углов места. Такая задача может быть решена применением на передающей позиции ПВС с кодированием по двум угловым координатам и моноимпульсным измерением угла места ВО на приемной позиции аналогично измерению азимута. Таким образом, на приемной позиции азимут и угол места ВО оцениваются по параметрам закона внутриимпульсной фазовой манипуляции, принимаемого ПВС, который будет определяться его угловым положением относительно передающей позиции. Угловые координаты ВО относительно приемной позиции будут оцениваться моноимпульсным методом, отличающимся от стандартного наличием настройки согласованных фильтров в приемных каналах по оценкам угловых координат ВО относительно передающей антенны.

Учитывая сказанное выше, для проведения сравнительных расчётов точности оценки местоположения ВО примем, что измерению подлежат следующие величины: разность расстояний, образованная длинами путей прохождения сигнала вдоль линии базы  $L$  и линии передающая позиция – ВО – приемная позиция  $\Delta R = c(t_L - (t_T + t_R))$ :

$$\Delta R = L - \left( \sqrt{(X - x_T)^2 + (Y - y_T)^2 + (H - h_T)^2} + \sqrt{(X - x_R)^2 + (Y - y_R)^2 + (H - h_R)^2} \right), \quad (1)$$

значения углов азимута и места относительно передающей и приемной позиций соответственно:

$$\beta_T = a \tan \frac{X - x_T}{Y - y_T} + \varphi, \quad \beta_R = a \tan \frac{X - x_R}{Y - y_R} + \varphi, \quad (2)$$

$$\varepsilon_T = a \tan \frac{H - h_T}{\sqrt{(X - x_T)^2 + (Y - y_T)^2}}, \quad \varepsilon_R = a \tan \frac{H - h_R}{\sqrt{(X - x_R)^2 + (Y - y_R)^2}}, \quad (3)$$

где:  $x_i$ ,  $y_i$ ,  $h_i$  – координаты позиций;  $t_L$  – время распространения сигнала вдоль линии базы  $L$ ;  $t_R$ ,  $t_T$  – время распространения сигнала по линии передающая позиция – ВО и ВО – приемная позиция соответственно;  $\varphi = 0,5\pi(2 - \text{sgn}X - \text{sgn}X\text{sgn}Y)$ ,  $\text{sgn}X = 1$  при  $X > 0$  и  $\text{sgn}X = -1$  при  $X < 0$ .

Уравнения (1)–(3) можно решить относительно неизвестных  $X$ ,  $Y$ ,  $H$  итерационными методами (Ньютона-Лейбница, Ньютона-Рафсона и др.). При этом начальные приближения можно определить триангуляционным способом. Потенциальная точность определения местоположения ВО определяется известной зависимостью [8]:  $\sigma = \sqrt{\text{tr}(B^T W^{-1} B)^{-1}}$ , где  $B$  – матрица частных производных,  $W$  – ковариационная матрица ошибок измерений.

На рис. 2 приведены СКО определения координат различными способами для различных траекторий ВО, цифрами обозначено: 1 – СКО определения местоположения ВО суммарно – дальномерно – угломерным способом; 2 – СКО определения местоположения предлагаемым способом.

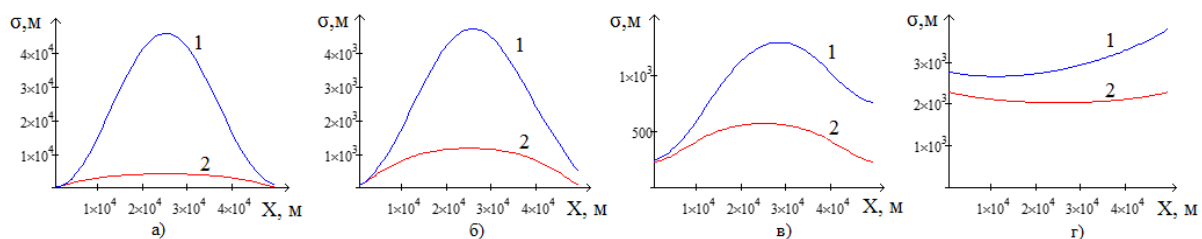


Рис. 2. Сравнительные графики СКО при нахождении ВО на высоте 200 м и удалении ВО от линии базы на: а) 500 м; б) 2000 м; в) 10000 м; г) 50000 м

### Выводы

– рассмотрен способ определения координат ВО с использованием дополнительной информации об угле его облучения с передающей позиции, обладающей выигрышем в точности определения местоположения;

– предложенный способ измерения подразумевает применение РЛС со сложным излучаемым ПВС, обладающей повышенной скрытностью и помехозащищенностью.

### Список используемых источников

1. Аверьянов В. Я. Разнесенные радиолокационные станции и системы. Минск: Техника, 1978. 148 с.
2. Cherniakov, M. Bistatic Radar: Emerging Technology / edited by Mikhail Cherniakov. John Wiley & Sons, Ltd., 2008.
3. Бляхман А. Б., Рунова И. А. Бистатическая эффективная площадь рассеяния и обнаружение объектов при радиолокации на просвет // Радиотехника и электроника. 2001. Т. 46. №4.
4. Бляхман А. Б., Мякинчиков А. В., Рындык А. Г. Измерение координат целей в трехкоординатных бистатических РЛС с обнаружением «на просвет» // Радиотехника и электроника. 2006. № 4. С. 422–427.
5. Рындык А. Г., Сидоров С. Б., Бляхман А. Б., Ковалев Ф. Н. Точность определения координат методом максимального правдоподобия при локации «на просвет» // Радиотехника и электроника. 1999. Т. 44. № 12. С. 1436–1440.
6. Willis, N. J. Bistatic radar. Technology Service Corporation, 1995. 345 с.



7. Борисов Е. Г., Поддубный С. С. Применение пространственно-временных сигналов для определения координат целей в бистатической локационной системе. Вопросы радиоэлектроники. 2017. № 1. С. 9–14.

8. Ширман Я. Д., Манжос В. Н. Теория и техника обработки радиолокационной информации на фоне помех. М.: Радио и связь, 1981. 416 с.

УДК 621.397.13

## ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ РАБОТЫ ОДНОЧАСТОТНОЙ СЕТИ ЦЭТВ СТАНДАРТА DVB-T2

А. Н. Бучатский, С. П. Куликов

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича

*Одночастотная сеть (Single Frequency Network) – сеть передающих станций, в которой вещание осуществляется на одной частоте. Данная технология позволяет использовать множество передатчиков, работающих на одной частоте и покрывающих смежные области. При этом использование одного частотного канала происходит без существенного взаимного влияния передатчиков друг на друга из-за технологических особенностей системы DVB-T2. В докладе приведены условия существования одночастотной сети.*

*SFN, DVB-T2.*

Анализ особенностей распространения радиоволн отдельных частотных диапазонов, которые используются для наземного телевизионного вещания, показал, что наличие только одного мощного радиопередающего устройства допускает появление участков неудовлетворительного приема телевизионных сигналов даже в зоне уверенного приема [1]. Радикальным способом исключения участков неудовлетворительного приема и расширения, в целом, зоны вещания цифрового телевидения является создание одночастотных сетей вещания (SFN – *Single Frequency Network*), в которых трансляция телевизионных программ на большую территорию идет параллельно через ряд радиопередатчиков, работающих на одной и той же частоте.

Для построения эффективно работающей одночастотной сети (рис. 1) требуется выполнение нескольких условий:

– требуется синхронизации передатчиков одночастотной сети по частоте. Требуемая точность частоты зависит от частотного интервала между смежными несущими, для режима модуляции  $8k$  стабильность частоты должна быть не менее 1,1 Гц, для режима  $32k$  – примерно 0,25 Гц. Такая

высокая стабильность достигается за счет использования синхронизации передатчиков от внешнего генератора с привязкой к синхросигналам GPS – 10 МГц. Источник сигнала с высокой стабильностью по частоте – GPS приемник, подключенный к измерительному прибору;

– требуется временная синхронизация группы передатчиков одночастотной сети для одновременного излучения сигнала. Для синхронизации передатчиков используется глобальная система позиционирования – GPS – 1PPS [2];

– максимальное расстояние между передатчиками ограничено длительностью защитного интервала. При превышении определенного расстояния между передатчиками, происходит выход из защитного интервала сигналов передатчиков, т. е. передатчики будут создавать помехи друг другу. В России максимальное расстояние между передатчиками должно быть не более 67 км.

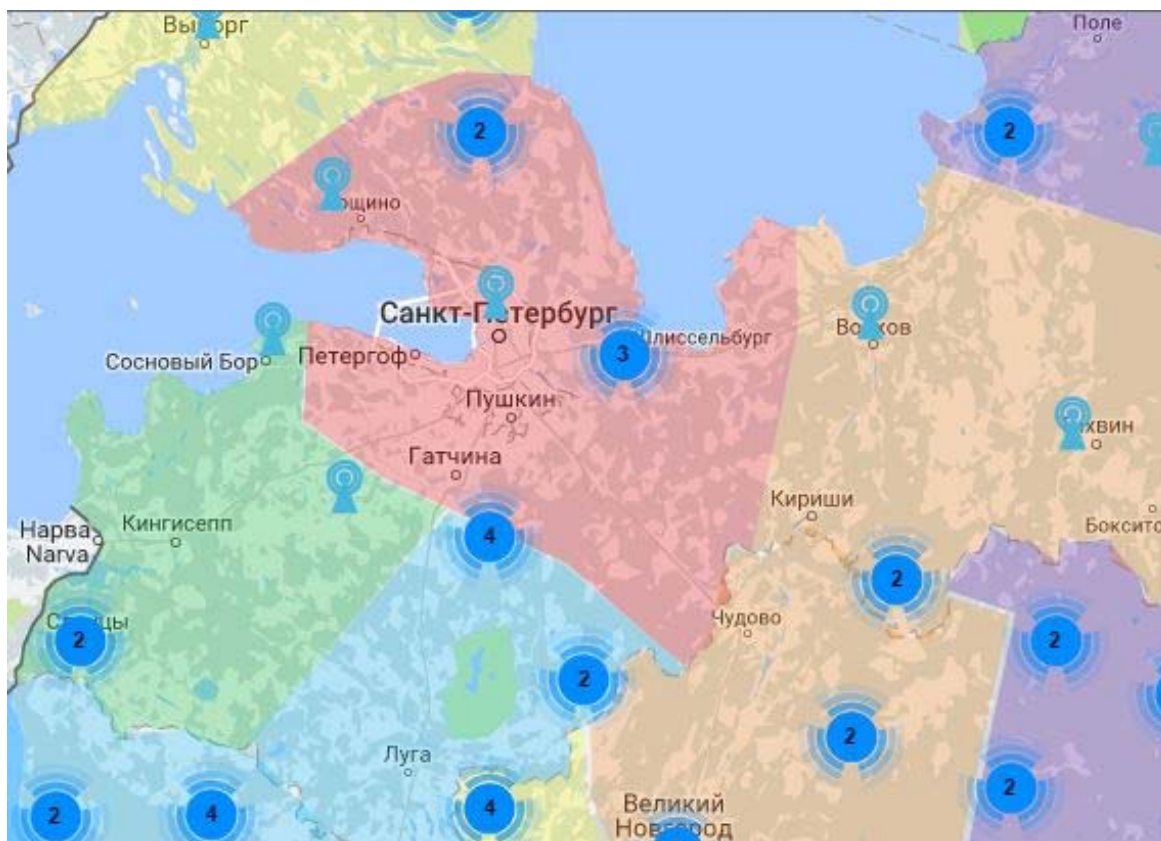


Рис. 1. Одночастотная сеть первого мультиплекса Санкт-Петербурга и Ленинградской области

На рис. 2 приведена структурная схема типового тракта доставки контента и схема передающей станции с сигналами внешней синхронизации.

Для проверки исправного функционирования одночастотной сети необходимо контролировать следующие параметры:

– уровень сигнала;

- спектр сигнала;
- отношение несущая-шум;
- коэффициент битовых ошибок;
- коэффициент ошибок модуляции;
- наличие ошибок 1, 2, 3 приоритетов по ETR 101 290;
- уровень эхо-сигналов;

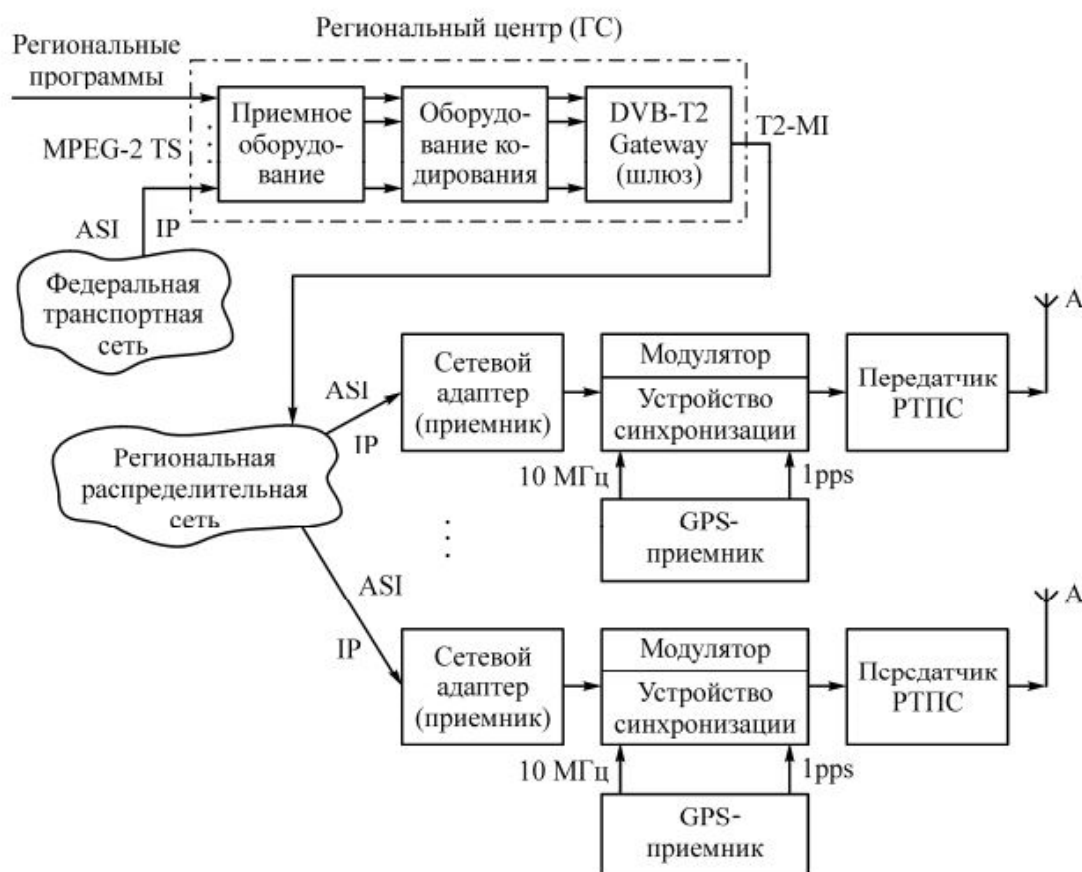


Рис. 2. Структурная схема передающей станции

Для анализа особенностей работы одночастотной сети была выбрана одночастотная сеть первого мультиплекса Санкт-Петербурга и Ленинградской области. Измерения проводились в соответствии с приложением № 2 к решению ГКРЧ от 16 октября 2015 г. (№ 15-35-04) [3]. Сбор информации о нарушении одночастотной сети производился в течение 2015 г. В результате были получены следующие результаты.

Как видно из таблицы, наиболее частой причиной нарушения исправного функционирования одночастотной сети являются неисправности, связанные с GPS-приемниками. Такой сбой приводил к нарушению требуемой стабильности частоты излучения. Проблему удалось частично решить, заменив плату GPS-приемника с CH-4706 на NAV-08. С новой платой «зависания» оборудования стали происходить намного реже.

ТАБЛИЦА. Результаты контроля работы сети 1 мультиплекса за 2015 г.

Причина нарушения работы SFN	Количество неисправностей за год
Неисправности, Связанные с <i>GPS</i> -приемником	23
Неисправности, связанные с ПО передатчика	6
Неисправности, связанные с <i>SAM</i> -модулем в приемнике	1

Следующим по количеству отказов следует пункт «неисправности, связанные с программным обеспечением передатчика». В зависимости от версии прошивки ПО передатчика отказы могут происходить по различным причинам. В одной из версий, при перезагрузке или включении передатчика происходил сброс параметра CELL-ID, что является критическим при работе в одночастотной сети. В другой же версии, при автоматическом переходе модулятором на резервный канал и возврате на основной, модулятор начинал выдавать некорректный поток на выходе.

Неисправности, связанные с *SAM*-модулем в приемнике, происходят достаточно редко, но такую ситуацию легко пропустить при проверке работы одночастотной сети. Часто, убедившись в корректном демодулировании PLPO, оператор пренебрегает контролем остальных каналов физического уровня.

В заключение можно сделать вывод, что наиболее узким местом корректного функционирования одночастотной сети являются *GPS*-приемники, выдающие сигналы синхронизации. Решением проблемы могла бы стать установка системы дистанционного мониторинга, контролирующей исправное функционирование этих приемников.

#### Список используемых источников

1. Мамчев Г. В. Цифровое телевизионное вещание: учебное пособие для вузов. М.: Горячая линия – Телеком, 2014. 448 с.
2. Карякин В. Л. Цифровое телевидение: учебное пособие для вузов, 2-е изд., переработанное и дополненное. М.: Солон-Пресс, 2013. 451 с.
3. Приложение № 2 к решению ГКРЧ от 16 октября 2015 г. № 15-35-04 [Электронный ресурс] // Минкомсвязь России. URL: <http://minsvyaz.ru/uploaded/files/prilozhenie-2-k-resheniyu-gkrch--15-35-04-metodika-zona-obsluzhivaniya-ochs-stantsij-dvb-t2.pdf> (дата обращения 27.03.2017).

УДК 654.022

## КОНЦЕПЦИЯ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ СИНТЕЗА ДИАГРАММ НАПРАВЛЕННОСТИ ФАЗИРОВАННЫХ АНТЕННЫХ РЕШЁТОК С УЧЁТОМ УРАВНЕНИЯ РАДИОЛОКАЦИИ В СОВМЕЩЁННЫХ СИСТЕМАХ РАДИОСВЯЗИ И ВТОРИЧНОЙ РАДИОЛОКАЦИИ

**Е. Ю. Васильев, С. В. Кузьмин**

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

*В статье рассматривается концепция интерактивной математической модели объединённой системы связи и вторичной радиолокации, с возможностью синтеза ДН ФАР специальной формы, с учётом изменяющегося амплитудно-фазового распределения на апертуре, высоты подъёма антенн, чувствительностей приёмников, свойств подстилающей поверхности и других параметров и характеристик радиоканала.*

*ФАР, интерактивная визуализация.*

Рассматриваемая в статье проблематика связана с тем, что возрастает функциональная сложность радиоэлектронных средств и, как следствие, возникает необходимость визуализации разнообразных и многочисленных радиолокационных характеристик, и характеристик канала связи.

Развитие беспилотных аппаратов предъявляет новые требования к комплексированию и объединению различных радиоэлектронных средств, а также к ужесточению требований к характеристикам входящих устройств – узлов, модулей, блоков, что закономерно приводит к появлению новой элементной базы. В частности, всё чаще функции, которые выполняли система связи и система вторичной радиолокации, возлагаются на совмещённую систему, которая должна обеспечивать как связь, так и определение координат, и получение другой радиолокационной информации, что и способствует развитию вычислительной техники и элементной базы. Например, один и тот же усилитель мощности, построенный на основе современного твердотельного транзистора, может обеспечивать работу радиоканала как в радиолокационном режиме, так и в режиме связи, а высокоскоростные ЦАП и АЦП позволили перейти от ФАР к АФАР и ЦАФАР, что привело к качественным изменениям функциональных возможностей радиоэлектронных средств. Радиоканал усложняется и от него требуют

в большей степени, чем раньше, системного эффекта (эмерджентность) и синергии составных частей [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8].

При построении столь сложных систем требуется анализ довольно большого количества разнородных данных, которые получаются при математическом моделировании и в результате натуральных экспериментов. Для этого полученные данные необходимо представить в удобном для анализа виде, а непосредственно при анализе желательно менять различные исходные параметры задачи. Современная вычислительная техника позволяет применять метод интерактивной визуализации данных при разработке комплексных радиоэлектронных средств. Указанная методика имеет ещё несколько полезных точек приложения. В частности, появляется возможность оперативного анализа данных, например, при настройке или эксплуатации аппаратуры. Программные продукты, в которых реализованы инструменты интерактивной визуализации, очень эффективны в учебном процессе. Практически все современные САПР содержат инструменты интерактивной визуализации. Некоторые из них позволяют решать конкретные задачи из определённой прикладной области, другие обеспечивают инструментарий для решения широкого круга задач, но требуют тщательной настройки и формирования собственных исходных математических моделей. В данной статье представлена концепция программного обеспечения для решения задач, которые возникают при разработке систем радиосвязи и радиолокации с применением ФАР. Выбор платформы для реализации, непосредственная реализация и результаты использования программного обеспечения будут представлены в последующих работах.

В основе концепции предлагаемого программного обеспечения лежит одновременное отображение всех относящихся к решению задачи данных и интерактивное управление ими. Например, меняя коэффициент усиления передатчика или вид амплитудно-фазового распределения (АФР) сразу видно, какое воздействие это произведёт на ДН антенны, зону действия и бюджет канала связи. При построении систем связи и радиолокации исходными данными для анализа являются:

- АФР и соответствующая ДН антенны;
- исходные данные радиолинии (рабочая частота, высота подъёма антенн, коэффициент усиления передатчика, чувствительность приёмника, вид модуляции ...);
- параметры среды (характеристики подстилающей поверхности, условия распространения электромагнитных волн на трассе ...);
- зона действия радиолокатора и бюджет канала связи с учётом ДН антенн, параметров среды и исходных данных радиолинии.

Интерактивность предлагается обеспечивать простыми элементами и сложными элементами трёх типов, описываемыми далее.

Простые интерактивные элементы дадут возможность менять все основные параметры задачи дискретно или плавно.

Сложные интерактивные элементы позволят менять параметры амплитудного и фазового распределения ФАР и её ДН.

Сложные интерактивные элементы первого типа позволят выбирать АФР из заранее заданных (равномерное, косинус на пьедестале ...), измеренных или меняющихся в зависимости от некоторых коэффициентов (величина пьедестала, степень фазовой ошибки ...). Подобные элементы фактически можно свести к простым интерактивным элементам.

Сложные интерактивные элементы второго типа позволят управлять амплитудным и фазовым распределениями непосредственно. При этом, если количество каналов ФАР велико, то распределения будут разбиваться на участки, количество которых позволит проводить анализ. Например, если в ФАР 100 элементов, то выделяем 10 точек, положение которых может совпасть с положением каждого десятого элемента решётки. Меняя амплитуду и/или фазу в точке, будут получаться значения фаз и амплитуд в каналах, на которые нельзя оказывать непосредственного влияния, из кривой, аппроксимирующей данные по десяти точкам – значениям амплитуд и фаз в активных, выбранных нами исходно, точках. Алгоритм определения амплитуд и фаз в остальных, пассивных, точках подлежит детальной проработке. Положение активных точек может не совпадать с положением излучателей решётки, кроме того, они могут быть расположены не эквидистантно.

Сложные интерактивные элементы третьего типа будут работать подобно элементам второго типа, только воздействие будет производиться на ДН. Фактически, получается инструмент для интерактивного синтеза ДН ФАР, в том числе и специальной формы.

Алгоритм синтеза ДН может быть следующим. Разбивается ДН ФАР на некоторое небольшое количество участков. Меняется значение ДН в средней точке каждого участка. Применяется один из многочисленных алгоритмов синтеза ДН ФАР и получается соответствующее АФР. По найденному АФР уточняется ДН. При этом значения ДН в выбранных точках также несколько меняются. Повторяем алгоритм до получения приемлемого результата.

Есть возможность изначально осуществить синтез ДН по заданному критерию (коэффициент усиления, ширина ДН, уровень боковых лепестков ...). В зависимости от выбора алгоритма синтеза ДН, время вычислений может быть достаточно большим. Полученный результат интерактивно корректируется вручную. Подчеркнём, что при синтезе ДН можно будет учесть, в той или иной степени, и все остальные параметры системы, рассмотренные ранее, а не только АФР. Например, влияние подстилающей поверхности, высота подъёма антенн, бюджет канала связи... В результате получается не просто ДН специальной формы, обусловленной функциональными

потребностями системы, а ДН специальной формы с учётом условий применения.

Задача синтеза ДН специальной формы возникает, в частности, при обеспечении навигации, посадки и связи с беспилотными летательными аппаратами (БПЛА). При этом ДН должна меняться динамически в ходе полёта. Например, на больших дальностях должны сформироваться ДН с узким лучом для обеспечения дальности радиосвязи. Вблизи аэродрома, из-за высокой скорости изменения положения БПЛА, ширина луча должна быть увеличена для обеспечения стабильности радиосвязи, а форма ДН изменена таким образом, чтобы минимизировать влияние подстилающей поверхности.

В результате реализации предлагаемой концепции будет получена интерактивная математическая модель объединённой системы связи и вторичной радиолокации с возможностью синтеза ДН ФАР специальной формы, для применения на всех этапах жизненного цикла системы (разработка (НИР, ОКР), настройка, ввод в эксплуатацию, эксплуатация, модернизация, учебный процесс ...) с целью увеличения системного эффекта и синергии. Качество модели может быть улучшено за счёт развития работы в следующих направлениях:

- совершенствование методов синтеза ФАР;
- учёт особенностей, связанных с реализацией АФАР и ЦАФАР;
- совершенствование методов и инструментов интерактивной визуализации по отношению к рассмотренному классу задач;
- введение в модель таких параметров, как траектория полёта, траектория посадки, ошибки навигации и посадки...;
- создание подобной интерактивной модели для многопозиционных систем;
- учёт погрешностей установки фаз и амплитуд фазовращателей и аттенюаторов в каналах ФАР при различном числе разрядов;
- введение в модель элементов статистической теории антенн и применение метода Монте-Карло.

#### Список используемых источников

1. Отчёт-протокол о заседании Комитета по повестке: «Перспективы развития системы вещательного автоматического зависимого наблюдения (АЗН-В) для авиации Российской Федерации». Заседание Комитета по аэронавигации № 9 от 30 июня 2015 года. Союз авиапроизводителей России [Электронный ресурс]. URL: [http://www.aviationunion.ru/Files/30\\_06\\_2015\\_CA9.pdf](http://www.aviationunion.ru/Files/30_06_2015_CA9.pdf)
2. Боев Н. М. Анализ командно-телеметрической радиолинии связи с беспилотными летательными аппаратами // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета им. акад. М. Ф. Решетнева. 2012. Вып. 2 (42).
3. Щесняк С. С., Попов М. П. Адаптивные антенны. СПб.: ВИККА имени А. Ф. Можайского, 1995. 611 с.



4. Григорьев Л. Н. Цифровое формирование диаграммы направленности в фазированных антенных решетках. М.: Радиотехника, 2010. 144 с.
5. Пономарёв Л. И., Степаненко В. И. Сканирующие многочастотные совмещенные антенные решетки / Под ред. Л. И. Пономарёва. М.: Радиотехника, 2009. 328 с.
6. Воскресенский Д. И., Овчинникова Е. В., Шмачилин П. А. Бортовые цифровые антенные решётки и их элементы / Под ред. Д. И. Воскресенского. М.: Радиотехника, 2013. 208 с.
7. Научно-технические серии. Выпуск 3: Устройства СВЧ и антенные системы. Кн. 1. Антенные системы локации, навигации и радиосвязи: коллективная монография / Под ред. А. Ю. Гринева. М.: Радиотехника, 2013. 176 с.
8. Научно-технические серии. Выпуск 3: Устройства СВЧ и антенные системы. Кн. 3. Активные и цифровые антенные решетки и их элементы: коллективная монография / Под ред. А. Ю. Гринева. М.: Радиотехника, 2014. 172 с.

**УДК 621.396 (075)**

## **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ НЕКОТОРЫХ МЕТОДИК ОЦЕНКИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ**

**Е. М. Виноградов**

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

*Рассматриваются методики оценки электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств, разработанные для использования радиочастотной службой Российской Федерации, и некоторые международные методики. Анализируются их возможности и области применимости.*

*электромагнитная совместимость, внеполосные излучения, побочные излучения, нелинейные эффекты, критерии ЭМС.*

Методики оценки электромагнитной совместимости (ЭМС) радиоэлектронных средств (РЭС) используются радиочастотной службой при проведении экспертизы возможности использования заявленных РЭС и их ЭМС с действующими или планируемыми для использования РЭС, а также при разработке планов частотно-территориального размещения РЭС. Согласно [1] все расчеты должны выполняться по методикам, утвержденным Государственной комиссией по радиочастотам (ГКРЧ). Однако это требование выполняется не всегда. Филиалы Радиочастотной службы располагают методиками оценки ЭМС, имеющими программную реализацию, которые не утверждены ГКРЧ и которые использовались филиалами для анализа ЭМС при децентрализованном назначении частот. С тех пор, как во-

просы назначения частот и анализа ЭМС были полностью переданы Главному радиочастотному центру (ГРЧЦ), эти программы используются для решения некоторых местных задач. К ним относятся: Система Управления Радио Спектром (СУРС) «Нева», пакет прикладных программ Проектирование и Анализ Радиосетей («ПИАР»), программно-методический комплекс (ПМК) «Эфир». Технические характеристики методик, заявляемые их разработчиками, представлены в таблице (см. ниже).

Более детальный анализ методик позволяет сказать следующее:

1. Не все методики решают задачи, сформулированные в строке Назначение, в заявленном диапазоне частот. Методика ПИАР использует эмпирические модели излучений передатчиков и восприимчивости побочных каналов приема радиоприемных устройств, представленные в [2] и основанные на измерениях параметров аппаратуры, диапазон рабочих частот которой не превышал 3 ГГц. Учитывая частотную зависимость параметров предложенных моделей, можно говорить о том, что диапазон частот, в котором выполняется оценка ЭМС РЭС и сетей связи, ограничен указанной частотой.

В то же время диапазон частот, в котором выполняются расчеты контуров напряженности электромагнитного поля и построение зон уверенного приема определяется диапазоном применимости используемых моделей распространения радиоволн.

2. Анализ помех только по ОКП в СУРС «Нева» и ПМК «Эфир» может привести к пропуску источников помех при анализе межсистемной ЭМС.

3. В программе ПИАР в качестве оценки влияния помех на прием полезного сигнала используется снижение реальной чувствительности приемника при действии помехи. При этом реальная чувствительность приемника определяется как уровень входного сигнала, при котором на входе детектора мощность сигнала равна мощности шума, которая определяется внутренними и внешними индустриальными шумами. Однако снижение реальной чувствительности приемника, определенной таким образом, не позволяет оценить изменение качества приема полезного сигнала и, следовательно, принять решение о наличии или отсутствии ЭМС.

4. При анализе нелинейных эффектов методики СУРС «Нева» и ПИАР требуют ввода специфических параметров, которые отсутствуют в технических спецификациях приемников. В таких случаях приходится использовать параметры, установленные в программах «по умолчанию», или параметры «наихудшего приемника», полученные по результатам ограниченного объема натурных измерений.

5. Все методики анализа ЭМС, представленные в таблице, не отражают принципов функционирования современных сетей подвижной связи с управлением мощностью абонентских и/или базовых станций.

6. Выполняемые расчеты ориентированы на использование параметров, характерных для аналоговых средств.

ТАБЛИЦА. Характеристики методик СУРС «Нева», ПИАР, ПМК «Эфир»

№ п/п	Характеристики	Методики		
		СУРС «Нева»	ПИАР	ПМК «Эфир» (вер. 4.0)
1	Диапазон частот, МГц	30–1000	27-18000	27-30000
2	Назначение	Оценка ЭМС РЭС и сетей связи	1. Отображение картографической информации. 2. Расчет и отображение на карте контуров напряженности электромагнитного поля. 3. Построение зон уверенного приема. 4. Оценка ЭМС РЭС и сетей связи.	
3	Виды анализируемых помех и путей их воздействия на прием полезного сигнала	1. Помехи по основному каналу приема (ОКП), создаваемые основным и внеполосными излучениями передатчиков.	1. Помехи по ОКП, создаваемые основным, внеполосными и побочными излучениями передатчиков (до 10-ой гармоники и две субгармоники). 2. Помехи по побочным каналам приема (ПКП) (до 10-ой гармоники гетеродина и канал промежуточной частоты (ПЧ)) 3. Интермодуляция 3-го и 5-го порядков в приемнике	1. Помехи по ОКП, создаваемые основным излучением передатчиков
		2. Помехи по ОКП, создаваемые ограниченным числом гармоник передатчиков (от 3 до 5 в зависимости от мощности передатчика).		
		3. Интермодуляция 3-го порядка в приемнике.	4. Блокирование приемника	
4	Используемая ГИС (геоинформационная система)	Отсутствует	1. Растровая ГИС собственной разработки. 2. Возможность экспорта проекта в ГИС MapInfo	ГИС АС РК «Панорама»
5	Модели распространения радиоволн	Модель Лустгартена-Медисона	Рекомендации МСЭ Р.370, Р.526, Р.676, Р.834, Р.833 Разработки НИИР	Рекомендации МСЭ Р.1546, Р.526, Р.676, Р.833, Р.1411
6	Критерии оценки ЭМС	1. Защитное отношение. 2. Допустимое отношение сигнал/шум на выходе приемника (при блокировании). 3. Превышение интермодуляционной помехой чувствительности приемника.	Оценка снижения реальной чувствительности приемника для каждого вида помех	Защитное отношение
7	Представление результатов	Таблицы, характеризующие несовместимые РЭС по каждому анализируемому эффекту с указанием отклонения от принятого порогового значения.	Таблицы по приемникам и передатчикам с указанием вида помехи и величины снижения реальной чувствительности приемника	Информация о нарушении защитного отношения

Методики, представленные в таблице, могут быть использованы для оценки ЭМС стационарных аналоговых РЭС и сетей связи, в которых отсутствуют элементы управления параметрами сигналов. Методики ПИАР и «Эфир» могут быть использованы для оценки областей обслуживания РЭС и значений напряженности поля в интересующих географических точках при решении задач частотно-территориального планирования сетей связи, не связанных с управлением мощностью базовых станций.

В настоящее время ГРЧЦ и некоторые филиалы Радиочастотной службы используют программные средства, разработанные компанией LStelcom. В число этих средств входит модуль SPECTRAemc, предназначенный для анализа ЭМС. Модуль реализует детерминистскую методику оценки ЭМС и решает следующие задачи:

- отображение выбранных РЭС на цифровой карте и оценку топографических характеристик объектов;
- расчет напряженности поля в точке или области;
- расчет контуров постоянной напряженности поля или постоянного отношения сигнал (несущая)/помеха;
- расчет интермодуляции (двух и трехсигнальной вплоть до пятого порядка). Оценка интермодуляции основана на значениях прогнозируемой напряженности поля и частоты;
- оценку ЭМС на основе анализа отношения сигнал/помеха и сравнения с защитным отношением. Методика оценки ЭМС рассматривает только основные излучения передатчиков и основные каналы приема радиоприемников. Оценка влияния помехи происходит, только если ее спектр (маска спектра) перекрывается с полосой пропускания приемника (жертвы);
- оценку необходимости координации частотных присвоений;
- отчет о результатах расчета, используя стандартные шаблоны.

В методике не рассматриваются ПКП приемников и эффект блокирования полезного сигнала мощной помехой. Методика не учитывает управление параметрами сигналов, характерное для сетей мобильной связи.

На основании идей, представленных в [3, 4], Научно-исследовательский институт радио (НИИР) были предложены и утверждены ГРЧЦ несколько методик анализа ЭМС, использующих имитационное статистическое моделирование работы исследуемых систем [5, 6, 7]. Основные характеристики этих методик:

1. Оценка ЭМС выполняется на основе имитационного моделирования методом Монте-Карло.

2. Источники исходных данных: карточки по форме № 1 ГРЧЦ, карточки по форме ИД-РС и ИД-ФС, Стандарты ETSI на технические характеристики соответствующего оборудования.

3. Используются данные о рельефе местности.

4. Виды рассматриваемых помех:

– помехи от основного, внеполосного, побочного (на гармониках) и шумового излучений по ОКП;

– помехи от основного и внеполосного излучений по зеркальному каналу приема.

5. Не рассматриваются:

– помехи по ПКП (кроме зеркального);

– нелинейные эффекты в приемнике.

6. Для оценки потерь на трассах распространения используются: модифицированная модель Хата, МСЭ Рек. 1546, методика НИИР.

7. Учитывается наличие динамического регулирования мощности абонентских и/или базовых станций.

Основным недостатком этих методик является отсутствие их программной реализации.

Отметим также, что на сегодняшний день ГКРЧ утвердил ряд специализированных детерминистских методик, разработанных НИИР [8, 9] и Ленинградского отделения Научно-исследовательского института радио [10]. Методики предлагают процедуры расчетов, но также не имеют программной реализации.

#### Список используемых источников

1. Порядок проведения экспертизы возможности использования заявленных радиоэлектронных средств и их электромагнитной совместимости с действующими или планируемыми для использования радиоэлектронными средствами, рассмотрения материалов и принятия решений о присвоении (назначении) радиочастот или радиочастотных каналов в пределах выделенных полос радиочастот. Решение ГКРЧ от 20.12.2011 г. № 11-13-02.

2. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств и непреднамеренные помехи. Составитель Д. Р. Ж. Уайт. Джермантаун, Мериленд, 1971–1973. Вып. 1. Общие вопросы ЭМС. Межсистемные помехи. Сокращ. пер. с англ. Под ред. А. И. Сапгира. Послесловие и комментарии А. Д. Князева. М.: «Сов. радио», 1977.

3. ERC Report 68. Monte-Carlo simulation methodology for the use in sharing and compatibility studies between different radio services or systems. Naples, February 2000, revised in Regensburg, May 2001 and Baden, June 2002.

4. SEAMCAT. User manual. European Radiocommunications Office, February 2004.

5. Методика расчета ЭМС РРЛ прямой видимости с наземными РЭС гражданского назначения в полосах частот выше 1 ГГц. Решение ГКРЧ от 24.10.2005 (прот. № 05-09).

6. Методика расчета ЭМС систем абонентского радиодоступа и беспроводной передачи данных с другими РЭС гражданского применения на территории Российской Федерации, работающих в общих полосах частот в диапазоне от 1 ГГц до 30 ГГц. Решение ГКРЧ от 24.10.2005 (протокол № 05-09).

7. Методика расчета ЭМС основных типов (групп) РЭС систем СПС с другими типами (группами) РЭС гражданского назначения, работающих в общих полосах частот в диапазонах 160 МГц, 450 МГц, 900 МГц и 2 ГГц. Решение ГКРЧ от 24.10.2005 (протокол № 05-09).

8. Методика расчета электромагнитной совместимости между радиоэлектронными средствами сетей беспроводного доступа и земными станциями спутниковой службы

гражданского применения в полосе частот 3400–4200 МГц. Решение ГКРЧ от 24.10.2005 (протокол № 05-09).

9. Методика оценки электромагнитной совместимости и условий совместного использования РЭС цифрового ТВ с РЭС аналогового ТВ и РЭС других радиослужб. Решение ГКРЧ от 20 января 2009 г. № 09-01-0.

10. Методика расчета электромагнитной совместимости земных станций фиксированной спутниковой службы и радиорелейных станций фиксированной службы гражданского назначения в полосах частот совместного использования от 1 ГГц до 40 ГГц. Решение ГКРЧ от 26.09.2005 (протокол № 05-08).

УДК 536.2:536.7

## РАСЧЁТ ПРОВОДИМОСТИ НЕОДНОРОДНЫХ СЛОЕВ С ВКЛЮЧЕНИЯМИ С УЧЁТОМ КРАЕВЫХ ЭФФЕКТОВ

**Е. М. Волокобинский**

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

*Произведён расчёт проводимости слоёв композиционных материалов с полупроводящими включениями. В частности, для случаев, когда вся нижняя поверхность металлизирована, потенциал на ней равен нулю. А потенциал верхнего электрода принят равным  $V$ . Показано, что потенциал по толщине образца вдали от края электрода определяется формулой, содержащей поправку на краевой эффект. Дополнительно рассмотрены случаи различного расположения электродов на образце. Полученные выражения позволяют производить расчёт потенциала электрического поля и проводимость с учётом краевых эффектов, то есть учитывать вклад краевых эффектов в проводимость композиционных материалов с включениями.*

*включения, краевые эффекты, проводимость, расчет.*

Произведем расчет электрического поля в структуре композиционных материалов (КМ) лаате (рис.), которую мысленно разобьем на области: 1, 2, 3, 1\*, 2\*, 3\*. На верхнюю и нижнюю поверхности исходной пластины длиной  $L_z$ , толщиной  $h$ , шириной  $x_3$  нанесены заземленные электроды; в среднюю плоскость при  $y = h/2$  помещен тонкий электрод, имеющий ширину  $l = x_2 - x_1$ , находящийся под напряжением  $U$ . Электрическое поле  $E$  симметрично относительно плоскости  $y = h/2$  и не зависит от  $z$ -й координаты. Особенностью задачи, существенно осложняющей ее решение, является то, что составляющая электрического поля  $E_y$  при  $y = h/2$  равняется нулю на гранитах областей 1–1\* и 3–3\*, а на гранитах областей 2–2\* отличается

от нуля и испытывает скачок. Это приходится учитывать при выборе потенциала  $\varphi$  в областях 1–1\*, 2–2\*, 3–3\* [1, 2, 3, 4, 5].

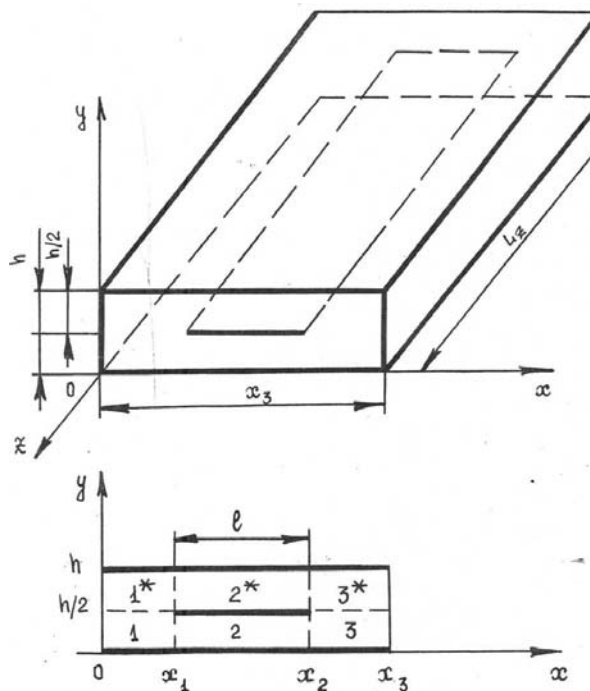


Рисунок. К расчету электрического поля в линейно-неоднородном диэлектрике

Граничные условия имеют следующий вид: на внешних границах областей при  $x = 0$ ,  $y = 0$ ,  $x = x_3$ ,  $y = h$ , потенциал  $\varphi$  равен нулю:

$$\varphi|_{x=0} = \varphi|_{x=x_3} = \varphi|_{y=0} = \varphi|_{y=h} = 0.$$

На внутреннем электроде потенциал равен  $U$ :

$$\varphi|_{y=h/2} = U \quad \text{при} \quad x_1 \leq x \leq x_2.$$

На границах областей 1 и 1\*, 3 и 3\*:

$$\frac{\partial \varphi}{\partial y} \Big|_{y=h/2} = 0 \quad \text{при} \quad x < x_1 \quad \text{и} \quad x < x_2.$$

На границах областей 1 и 2, 1\* и 2\*, а также 2 и 3, 2\* и 3\* непрерывны потенциал и производные от потенциала по  $x$  и  $y$ :

$$\left. \begin{aligned} \varphi_1|_{x=x_1} &= \varphi_2|_{x=x_1}; & \varphi_2|_{x=x_2} &= \varphi_3|_{x=x_2} \\ \frac{\partial \varphi_1}{\partial x} \Big|_{x=x_1} &= \frac{\partial \varphi_2}{\partial x} \Big|_{x=x_1}; & \frac{\partial \varphi_2}{\partial x} \Big|_{x=x_2} &= \frac{\partial \varphi_3}{\partial x} \Big|_{x=x_2} \end{aligned} \right\}$$

где  $\varphi_1$ ,  $\varphi_2$  и  $\varphi_3$  – значения потенциала  $\varphi$  в соответствующих областях.

В общем случае:

$$\varepsilon \Delta \psi + \text{grad} \varepsilon \cdot \text{grad} \varphi = 0. \quad (1)$$

Уравнению (1) при заданных граничных условиях удовлетворяют решения, записанные в виде сумм:

$$\varphi = \varphi(x, y) = \sum_{(n)} [M_n I_0(\eta_n) + N_n K_0(\eta_n)] \sin(\beta_n y),$$

где  $M_n$ ,  $N_n$  и  $\beta_n$  – постоянные, определяемые из граничных условий, и:

$$\eta_n = \beta_n (a + bx)/b, \quad \beta_n = (2n - 1)\pi/h. \quad (2)$$

На границах областей 1 и 2  $\varphi_{10}(x_1, y) = \varphi_{20}(y)$  и производная  $\partial\varphi_{20}/\partial x = 0$ , т. к.  $\varphi_{20}$  не зависит от  $x$ .

Учитывая это и граничные условия (2), получим:

$$\varphi_{1c} \Big|_{x=x_1} = \varphi_{2c} \Big|_{x=x_1}; \quad \frac{\partial(\varphi_{10} + \varphi_{1c})}{\partial x} \Big|_{x=x_1} = \frac{\partial\varphi_{2c}}{\partial x} \Big|_{x=x_1}.$$

Аналогичные выражения можно записать и на правой границе области 2.

В ходе преобразований получим окончательную формулу:

$$E_{1y} = -\frac{8U}{\pi h} \sum_{n=1}^N \left[ \frac{(-1)^{n+1}}{2n-1} + (2n-1)G_n \right] \frac{I_0(\eta_n)}{\eta_{n1}} \cos(\beta_n y),$$

$$E_{3y} = \frac{8U}{\pi h} \sum_{n=1}^N \left[ \frac{(-1)^{n+1}}{2n-1} + (2n-1)F_n \right] \frac{K_0(\eta_n)}{K_0(\eta_{n2})} \cos(\beta_n y).$$

По сравнению с напряженностью электрического поля в однородном материале, напряженность электрического поля у левого электрода ослаблена, а у правого электрода усилена. Проводимость у левого электрода ослаблена, а у правого – усилена.

Введение неоднородностей приводит к перераспределению напряженности электрического поля и проводимости в радиоэлектронных изделиях.

#### Список используемых источников

1. Гринберг Г. А. Избранные вопросы математической теории электрических и магнитных явлений. М.-Л.: Изд. АН СССР, 1948. 727 с.
2. Jackson E. A. Perspectives of nonlinear dynamics. Cambr. Univ. Press, 1989. 495 с.
3. Марчук Г. И. Методы вычислительной математики. М.: Наука, 1979. 535 с.
4. Харитонов Е. В. Диэлектрические материалы с неоднородной структурой. М.: Радио и связь, 1983. 128 с.
5. Советов Н. М., Авербух М. Э. Разностные бесселевы функции и их применение в технике. Саратов: Саратовский ГУ, 1968. 174 с.

*Статья представлена научным руководителем, доктором технических наук, профессором С. В. Томашевичем.*



УДК 654.165

## ВАРИАНТ РЕАЛИЗАЦИИ ДВУНАПРАВЛЕННОЙ СВЯЗИ В СИСТЕМЕ МЕТЕОРНОЙ СВЯЗИ. ОПИСАНИЕ ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА СМС

О. В. Воробьев, А. И. Рыбаков

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

*Представлено решение задачи по созданию программно-аппаратного комплекса системы метеорной связи. Рассмотрен вариант реализации. Показаны результаты экспериментальной апробации технических решений.*

*двунаправленная связь, система метеорной связи, канал передачи, частотное разделение каналов, частотные фильтры, временное разделение каналов, кодовое разделение каналов.*

Система метеорной связи (СМС) включает в себя следующие компоненты:

1. Передатчик – блок формирования сигналов для СМС.
2. Канал передачи.
3. Приёмник – блок обработки сигналов СМС.

Структурная схема СМС (рис. 1).

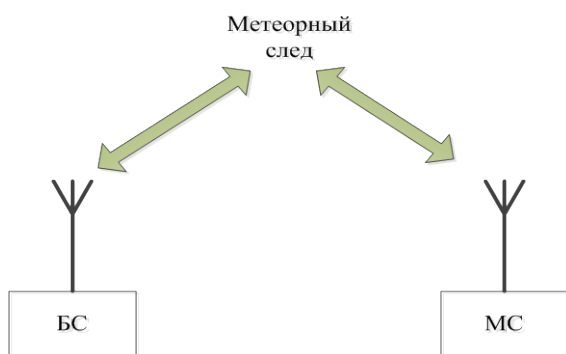


Рис. 1. Структурная схема СМС

Варианты реализации двунаправленной связи в СМС:

1. Частотное разделение каналов приёмника и передатчика.
2. Временное разделение.
3. кодовое разделение сигналов приёмника и передатчика.

При использовании *частотного разделения каналов (FDMA)* приёмника и передатчика в заданном частотном диапазоне для передачи и приёма выделяются две не-

сущие частоты  $f_1$  и  $f_2$  (рис. 2). Характеристики и производительность системы метеорной связи при использовании технологии FDMA проанализированы в статье [1].

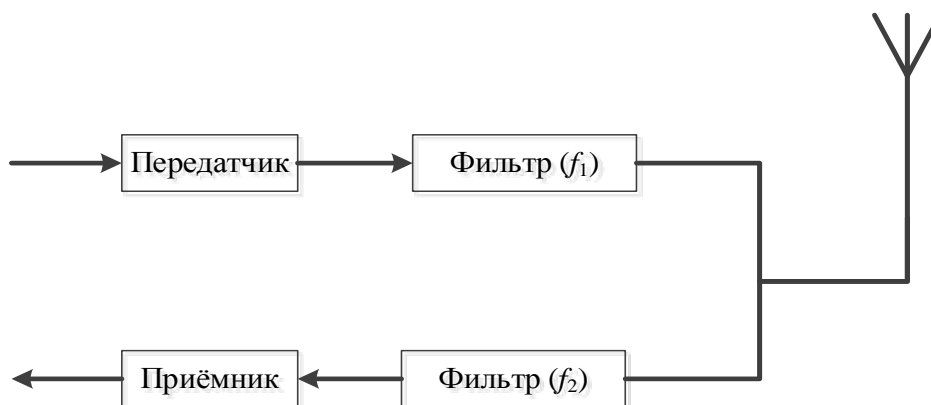


Рис. 2. Разделение каналов прием/передача с помощью фильтров

Частотный разнос  $\Delta f = f_2 - f_1$  выбирается таким образом, чтобы занимаемые полосы частот сигналов с каждого канала не перекрывались. При таком построении СМС нет необходимости использовать отдельную антенну для передатчика и приёмника. Для этого могут применяться фильтры, настроенные на каждую частоту (рис. 3).

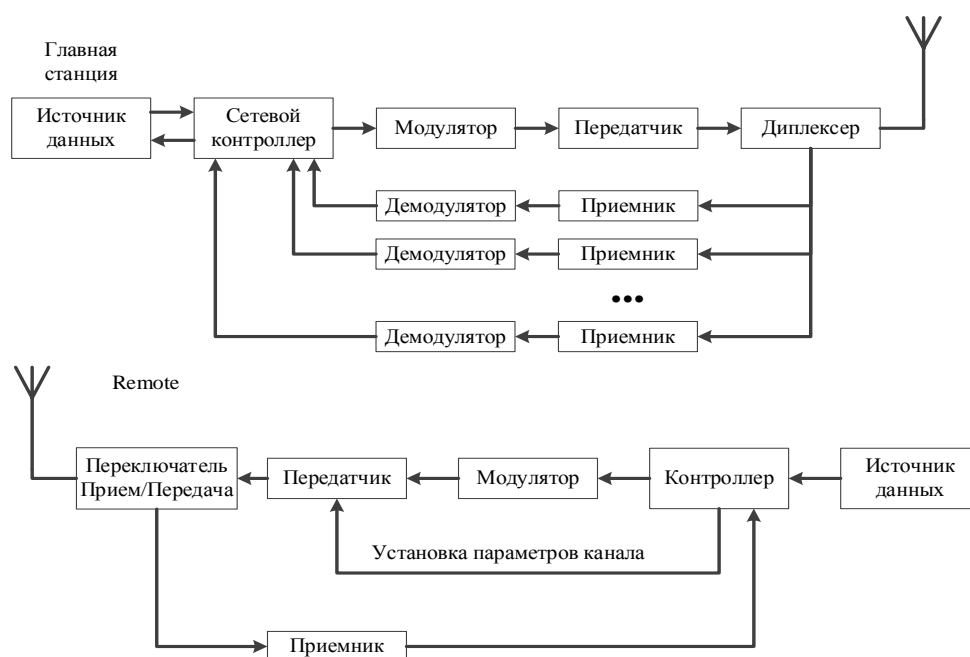


Рис. 3. Принцип частотного разделения каналов при построении СМС

Фильтры подавляют шумы передатчика на частоте настройки приемника и не пропускают сигнал передатчика на вход приемника с целью предотвращения перегрузки последнего.

Оборудование обеих конечных станций идентично и состоит из передатчика, приемника, блока управления, стробируемого накопителя передатчика, накопителя приемника и антенной системы (рис. 4).

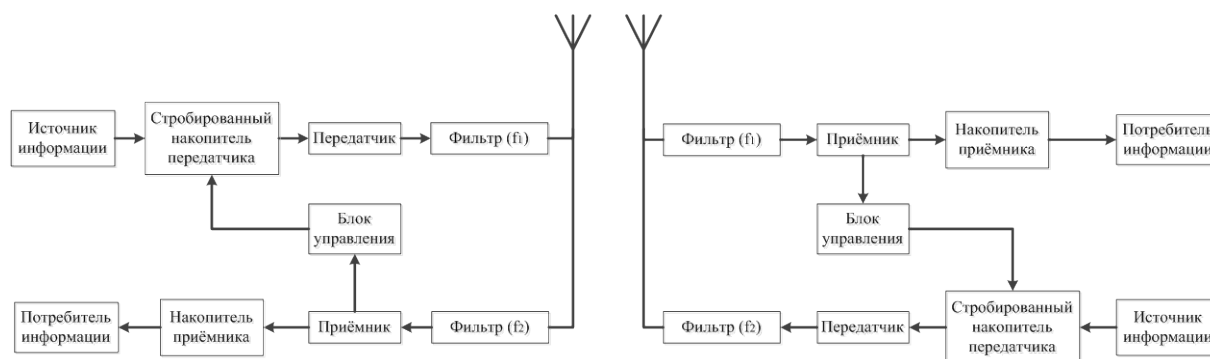


Рис. 4. Оборудование конечных станций

Передатчики непрерывно излучают энергию на частотах, разнесенных на 1 МГц в диапазоне от 30 до 50 МГц. Каждый приемник настроен на частоту передатчика, находящегося на противоположном конце линии. Когда образуется подходящий след от метеора, каждый приемник воспринимает несущую от удаленного передатчика. На приемнике при помощи контрольного блока осуществляется слежение за уровнем несущей. Когда этот уровень превысит значение, обеспечивающее заданное отношение сигнал-шум, стробирующее устройство передатчика срабатывает и открывает путь для прохождения информации из накопителя в передатчик и модуляции его с большой скоростью. Передача информации продолжается до тех пор, пока отношение сигнал-шум не падает ниже порогового уровня стробирующего устройства и в этот момент модуляция прекращается [2]. В приемнике на другом конце линии сигнал демодулируется и накапливается в запоминающем устройстве приемника, откуда воспроизводится с обычной скоростью оконечной приемной аппаратурой.

При *временном разделении каналов* передатчика и приёмника выделяются слоты времени, которые отводятся только под процедуры передачи или только под процедуры приёма (рис. 5).

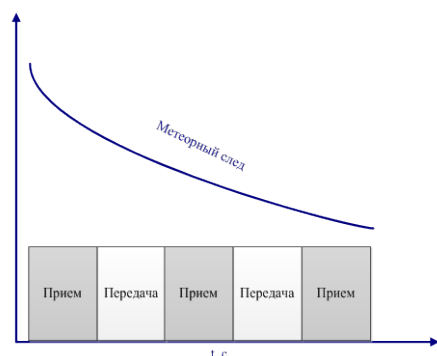


Рис. 5. Иллюстрация временного разделения каналов

В данном случае длительность метеорного следа, пригодная для передачи информации, делится на промежутки времени, в которых последовательно работает или передатчик, или приёмник [2]. Следовательно, при реализации данного метода требуется использование дополнительного управляющего устройства, переключающего режимы приёма и передачи. Также данное устройство должно быть синхронизировано на всех устройствах, участвующих в передаче. Данный подход уменьшает доступные ресурсы. Причём при отсутствии информации для передачи половина доступного для передачи времени не используется, то есть уменьша-

ется скорость передачи. Таким образом, данный метод мало применим для реализации двунаправленной связи в СМС.

*Кодовое разделение каналов (CDMA)* подразумевает использование различных ортогональных последовательностей для блоков передачи и приёма. На приёме данные псевдослучайные последовательности (ПСП) можно разделить без потери в помехоустойчивости. Анализ применимости технологии CDMA проведен в работе [3].

Каждый бит передаваемого сигнала производит модуляцию ПСП заданной длины, которая передаётся на скорости, превышающей скорость исходного сигнала (рис. 6). При этом происходит расширение полосы передаваемых сигналов. Полученные сигналы объединяются в один поток. Передача объединённого потока осуществляется в одной полосе частот с помощью одного из видов фазовой манипуляции. Поэтому системы, основанные на технологии CDMA, не требуют деления полосы частот на отдельные каналы.

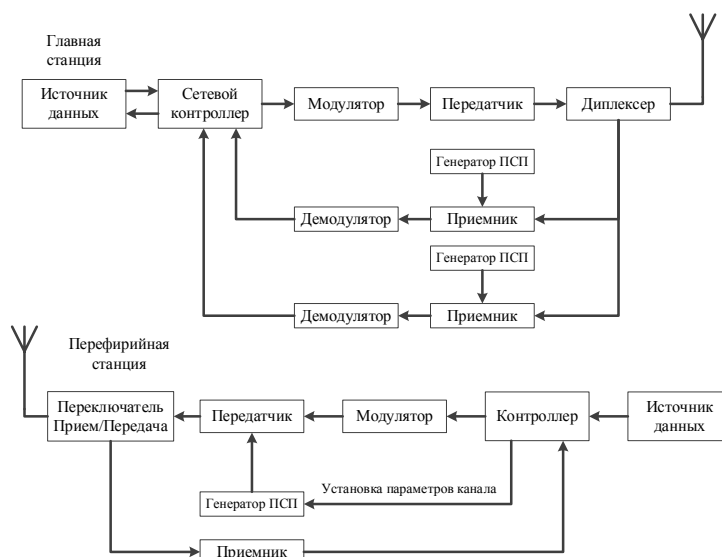


Рис. 6. Иллюстрация применения кодового разделения каналов

Для расширения спектра обычно используются последовательности Уолша, каждая из которых представляет собой одну из строк матрицы Адамара. Основное свойство данной матрицы состоит в том, что все строки матрицы ортогональны. Способ построения матрицы Адамара прост.

Матрица первого порядка  $A_1 = [4]$ .

Матрицы следующих порядков  $A_{2n} = \begin{bmatrix} A_n & A_n \\ A_n & -A_n \end{bmatrix}$ .

Если передаваемый бит равен 1, то обычно используется неинвертированная ПСП, иначе применяется инвертированная ПСП. Полученные данные с каждого канала передаются на сумматор и далее в канал передачи.

На приёмнике производится разделение каналов. Для выделения заданного сигнала производится подсчёт корреляции принятого сигнала с ПСП, соответствующей данному каналу передачи. Далее решающее устройство на основе знака результата вычисления корреляции производит формирование бита сообщения.

При невозможности реализации передачи ПСП на скорости, превышающей скорость исходного сигнала, ПСП передаётся на скорости исходного сигнала. В таком случае скорость передачи полезной информации уменьшается в число раз, пропорциональное длине ПСП (но на такое же число увеличивается энергия бита). Минимальная длина ПСП, используемая при кодовом разделении каналов, равна двум, то есть используется матрица Адамара второго порядка.

Преимуществом такого подхода к реализации двунаправленной связи является возможность работы нескольких станций на одной частоте, адресная доставка сообщений на выбранную станцию (путём использования соответствующих ПСП), отсутствие взаимного влияния при организации нескольких каналов передачи (за счет ортогональности применяемых последовательностей) [2].

### *Выводы*

– При использовании частотного разделения каналов приёмника и передатчика в заданном частотном диапазоне для передачи и приёма выделяются две несущие частоты. Частотный разнос выбирается таким образом, чтобы занимаемые полосы частот сигналов с каждого канала не перекрывались. При таком построении СМС нет необходимости использовать отдельную антенну для передатчика и приёмника. В плане частотной эффективности и простоты реализации, использование частотного разделения для организации системы метеорной связи, на наш взгляд эффективнее.

– При временном разделении каналов передатчика и приёмника выделяются слоты времени, которые отводятся только под процедуры передачи или только под процедуры приёма. При реализации данного метода требуется использование дополнительного управляющего устройства, переключающего режимы приёма и передачи. Данный подход уменьшает доступные ресурсы. Причём при отсутствии информации для передачи половина доступного для передачи времени не используется, то есть уменьшается скорость передачи. Таким образом, данный метод мало применим для реализации двунаправленной связи в СМС.

– Кодовое разделение каналов подразумевает использование различных ортогональных последовательностей для блоков передачи и приёма. На приёме данные псевдослучайные последовательности (ПСП) можно разделить без потери в помехоустойчивости. Системы, основанные на тех-

нологии CDMA, не требуют разделения полосы частот на отдельные каналы [4]. Преимуществом такого подхода к реализации двунаправленной связи является возможность работы нескольких станций на одной частоте, адресная доставка сообщений на выбранную станцию (путём использования соответствующих ПСП), отсутствие взаимного влияния при организации нескольких каналов передачи (за счет ортогональности применяемых последовательностей). Для достижения оптимальной производительности, системе метеорной связи с CDMA требуется существенно большая полоса частот, поэтому использование CDMA оправдано при организации сетей большого (сотни периферийных станций) и очень большого (тысячи периферийных станций) размера.

#### Список используемых источников

1. Воробьев О. В., Рыбаков А. И. Универсальный блок беспроводного взаимодействия с корабельной системой управления // В сборнике: Неделя науки СПбПУ, материалы научного форума с международным участием. Институт физики, нанотехнологий и телекоммуникации; В. Э. Гасумянц, Д. Д. Карпов – отв. ред. 2015. С. 43–45.
2. Воробьев О. В., Рыбаков А. И. Разработка мобильной системы информационного обеспечения с использованием каналов метеорной связи // Актуальные проблемы инфокоммуникаций в науке и образовании. VI Международная научно-техническая и научно-методическая конференция. СПб.: СПбГУТ, 2016. С.
3. Фокин Г. А. Управление самоорганизующимися пакетными радиосетями на основе радиостанций с направленными антенными решетками: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.12.04 / Фокин Григорий Алексеевич. СПб., 2009. 24 с.
4. Горелкин Г. А., Горшков А. В., Тулемисов У. М. Модель проектирования информационных систем в условиях потока новых информационных технологий // Системы высокой доступности. 2011. № 1. С. 50–53.

УДК 621.39

## ПРИМЕНЕНИЕ «ON-OFF» МОДЕЛЕЙ ПРИ АНАЛИЗЕ ОБСЛУЖИВАНИЯ ПАКЕТОВ В СЕТИ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ

**А. Н. Вылегжанин**

Военная академии связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного

*Процесс обслуживания трафика в сети спутниковой связи представлен многоканальной системой массового обслуживания в виде трехмерной марковской цепи. Аналитически описаны состояния системы. Определен параметр, регулирующий объем*

*резервируемого ресурса пропускной способности сети спутниковой связи в зависимости от интенсивности трафика передаваемого земной станцией.*

*сеть спутниковой связи, «on-off» модель, ресурс пропускной способности сети связи, марковская цепь, состояния системы.*

Поддержание высокого коэффициента использования ресурса пропускной способности ствола ретранслятора связи при работе нескольких сетей спутниковой связи (СС) обеспечивается эффективным использованием ресурса, выделенного каждой сети и, в частности, каждому спутниковому каналу внутри сети.

В настоящее время в сетях спутниковой связи возрастает объем передаваемого разнородного Ethernet трафика. При моделировании сети СС необходимо учитывать особенности такого трафика для рационального распределения ресурса внутри сети между каналами с учетом требований по соблюдению времени доставки пакетов  $T_d$ . Вследствие пульсирующего характера сетевого трафика земная станция (ЗС) в разные моменты времени запрашивает для передачи различный объем ресурса ретранслятора связи, выделенный для работы сети.

При описании динамических процессов в сети СС можно использовать принцип моделирования по «особым состояниям». В модель вводятся «особые состояния», которые характеризуют начало или завершение процессов в сети (поступление сообщения, начало или окончание его передачи и т. д.). Процесс функционирования всей сети рассматривается только в моменты, соответствующие «особым состояниям» [1].

К использующим принцип «особых состояний» для описания сетевого трафика относятся on-off модели, являющиеся частным случаем модулированных марковских процессов. В них трафик формируется рядом источников, каждый из которых генерирует пакеты информации в некоторый период времени. Смена on-периода, когда трафик генерируется, и off-периода, когда источник не генерирует пакеты, происходит по определенному закону.

На рис. 1 показан граф модели источника трафика, заданный конечной марковской цепью, состояния которой характеризуются парой чисел  $(i, j)$ , где  $i$  отражает состояние источника:  $i = 1$  соответствует состоянию источника «on» (источник генерирует трафик),  $i = 0$  соответствует состоянию источника «off» (источник не генерирует трафик),  $j = 0 \dots N$  – число пакетов, одновременно находящихся в системе.

В активном состоянии источник генерирует пуассоновский поток пакетов с интенсивностью  $\lambda$ . Обслуживание пакетов характеризуется показательным законом интенсивностью  $\mu$ . Интенсивность смены «on» и «off» состояний источника – соответственно переменными  $\beta$  и  $\alpha$ .

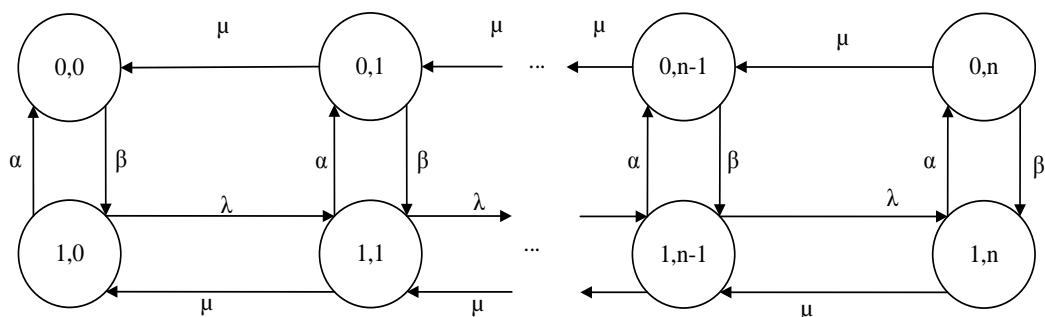


Рис. 1. Марковская цепь с on-off источником

Механизмы предоставления ресурса пропускной способности сети СС заключаются в выделении центральной земной станцией (ЦЗС) для каждой земной станции (ЗС) набора временных слотов в структуре суперкадра, в соответствии с поступающими от них запросами резервирования ресурса пропускной способности сети.

Так как временные слоты могут выделяться на различных частотах в дальнейшем целесообразно ресурс пропускной способности канала связи выражать в количестве частотно-временных блоков (ресурсных блоков) фиксированного объема  $[\Delta f \Delta \tau]$ , где  $\Delta f$  – полоса частот, соответствующая минимальной символьной скорости,  $\Delta \tau$  – длительность временного слота, выделенных ЗС для передачи в очередном суперкадре.

После регистрации ЗС в сети ей выделяется объем ресурса пропускной способности в виде определенного количества ресурсных блоков  $k$ . В ЗС пакеты обслуживаются выделенными ресурсными блоками. Если интенсивность поступления пакетов превышает интенсивность обслуживания, то происходит накопление не переданных пакетов в буфере емкостью  $N$  до установленного значения  $n^*$ . При превышении количества пакетов в буфер ЗС значения  $n^*$  формируется запрос на подключение дополнительных ресурсных блоков.

Представим процесс обслуживания трафика в сети СС в виде многоканальной системы массового обслуживания (СМО) с ограниченным временем ожидания [2], где в качестве каналов обслуживания выступают ресурсные блоки.

Предполагается, что задержка (вследствие большого времени распространения сигнала  $T_p$ ) в выделении дополнительных ресурсных блоков при заполнении буфера ЗС до некоторой величины  $n^*$  распределена по экспоненциальному закону со средним значением  $T_y$ . Время ожидания обслуживания, когда пакет находится в буфере, распределено по показательному закону с параметром  $\nu = 1/T_{ож}$ , где  $T_{ож} = T_d - T_p$  – среднее время ожидания пакета в очереди, а  $\nu$  – интенсивность потока потерь пакетов вследствие невыполнения требований по времени доставки  $T_d$ .

Допущение об экспоненциальных законах распределения длительностей передачи и поступления пакетов, периодов активности и пауз источ-



ника, а также задержки в управлении позволяет представить моделируемый процесс обслуживания трафика в виде трехмерной марковской цепи. Граф состояний трехмерной цепи, моделирующей процесс обслуживания одного источника трафика в виде прерываемого пуассоновского процесса с учетом задержки в управлении (выделении дополнительного ресурсного блока), приведен на рис. 2.

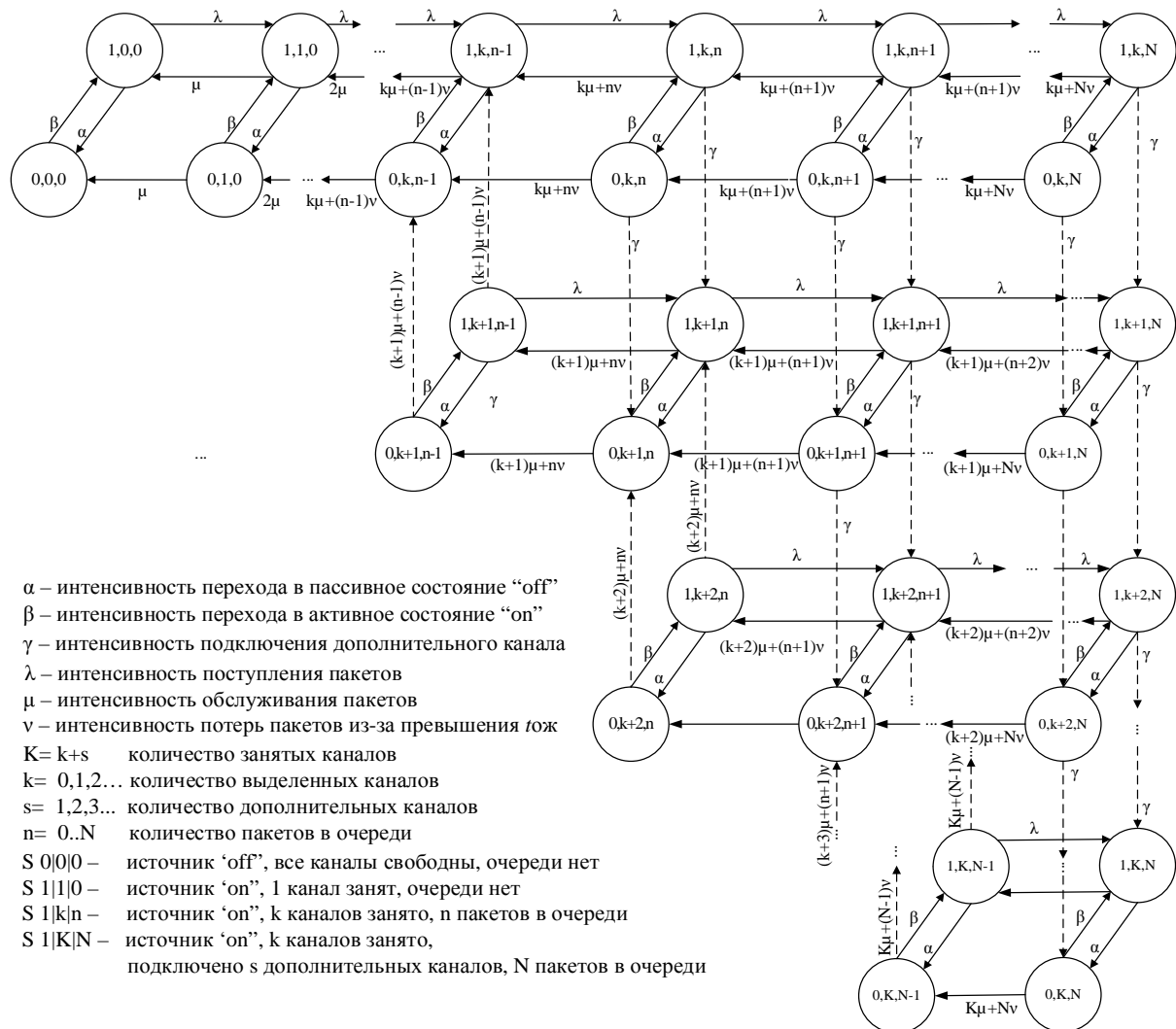


Рис. 2. Модель обслуживания трафика с учетом задержки в выделении ресурса пропускной способности сети

Состояния СМО описываются системой уравнений (см. ниже).

Состояния СМО описываются тремя числами  $i, j, l$ , где  $i$  – количество активных источников,  $j$  – количество занятых ресурсных блоков,  $l$  – количество пакетов в очереди.

$$\left\{ \begin{array}{l}
P_{0|j|0}(\beta + j\mu) = \alpha P_{1|j|0} + (j+1)\mu P_{0|j+1|0}, \quad j = \overline{0, k-1} \\
P_{0|j|l}(\beta + j\mu + lv + U(l+1-n^*)\gamma) = \alpha P_{1|j|l} + U(N-l)(j\mu + (l+1)v)P_{0|j|l+1} + \\
+ U((n^* - l)(l+2-n^*))((j+1)\mu + lv)P_{0|k+1|l}, \quad j = k, l = \overline{0, N} \\
P_{0|j|l}(\beta + (j\mu + lv) + U(l - (n^* + s))\gamma) = \alpha P_{1|j|l} + \\
+ U(N-l)(j\mu + (l+1)v)P_{0|j|l+1} + \\
+ U((n^* + s + 1 - l)(l+1-s-n^*))((j+1)\mu + lv)P_{0|j+1|l} + \\
+ U(l+1-(n^* + s))\gamma P_{0|j-1|l}, \quad j = \overline{k+1, K-1}, l = \overline{n^* + s - 1, N}, s = j - k \\
P_{1|j|0}(\alpha + \lambda + j\mu) = \beta P_{0|j|0} + U(j)\lambda P_{1|j-1|0} + \mu P_{1|j+1|0}(j+1), \quad j = \overline{0, k-1} \\
P_{1|j|l}(\alpha + j\mu + lv + U(N-l)\lambda + U(l+1-n^*)\gamma) = \beta P_{0|j|l} + \\
+ \lambda(U(1-l)P_{1|j-1|l} + U(l)P_{1|j|l-1}) + U(N-l)(j\mu + (l+1)v)P_{1|j|l+1} + \\
+ U((n^* - l)(l+2-n^*))((j+1)\mu + lv)P_{1|j+1|l}, \quad j = k, l = \overline{0, N} \\
P_{1|j|l}(\alpha + U(N-l)\lambda + (j\mu + lv) + U(l - (n^* + s))\gamma) = \beta P_{0|j|l} + \\
+ U(N-l)(j\mu + (l+1)v)P_{1|j|l+1} + U(l+1-(n^* + s))\lambda P_{1|j|l-1} + \\
+ U((n^* + s + 1 - l)(l+1-s-n^*))((j+1)\mu + lv)P_{1|j+1|l} + \\
+ U(l+1-(n^* + s))\gamma P_{1|j-1|l}, \quad j = \overline{k+1, K-1}, l = \overline{n^* + s - 1, N}, s = j - k \\
P_{0|j|l}(\beta + j\mu + lv) = \alpha P_{1|j|l} + U(N-l)(j\mu + (l+1)v)P_{1|j|l+1} + \\
+ U(l+1-(n^* + s))\gamma P_{1|j-1|l}, \quad j = K, l = \overline{n^* + s - 1, N}, s = j - k \\
P_{1|j|l}(\alpha + U(N-l)\lambda + j\mu + lv) = \beta P_{0|j|l} + \\
+ U(N-l)(j\mu + (l+1)v)P_{1|j|l+1} + U(l+1-(n^* + s))\lambda P_{1|j|l-1} + \\
+ U(l+1-(n^* + s))\gamma P_{1|j-1|l}, \quad j = K, l = \overline{n^* + s - 1, N}, s = j - k \\
\sum P_{i|j|l} = 1, \quad i = \overline{0, 1}, \quad j = \overline{0, K}, \quad l = \overline{0, N} \\
U(x) = \begin{cases} 1, & x > 0 \\ 0, & x \leq 0 \end{cases}
\end{array} \right.$$

Интенсивности переходов между состояниями графа на рис. 2:  $\lambda$  – интенсивность поступления пакетов в активном состоянии источника;  $\mu$  – интенсивность обслуживания пакетов;  $\beta$  – интенсивность перехода источника

в активное состояние;  $\alpha$  – интенсивность перехода источника в неактивное состояние;  $\gamma$  – интенсивность подключения дополнительного канала;  $\nu$  – интенсивность потерь пакетов из-за превышения  $T_{ож}$ .

Выделение ЗС ресурса пропускной способности канала (ресурсных блоков) для компенсации задержки в управлении производится с некоторым запасом (резервом), который определяется моментом отправки запроса на выделение дополнительного ресурса. Задача заключается в определении оптимального уровня заполненности буфера ЗС (значение  $n^*$ ), при достижении которого начинают формироваться запросы. Так как при большом  $n^*$  растет вероятность потери пакетов из-за переполнения буфера или превышения времени ожидания  $T_{ож}$ , а при малом  $n^*$  не оправдано велико количество дополнительно выделяемых ресурсных блоков (резерв), что ведет к нерациональному использованию ресурса пропускной способности сети.

Погрешность, вызванная допущением об экспоненциальных законах распределения процессов в модели может быть в последующем устранена при использовании имитационной модели и генетического алгоритма оптимизации. Полученное значение  $n^*$  послужит начальной точкой поиска уточненного решения.

#### Список используемых источников

1. Вылегжанин А. Н., Сатдинов А. И. Использование «on-off» моделей для моделирования нестационарного трафика в сети спутниковой связи // НТК СПбНТОРЭС им. А. С. Попова. Труды конференции. 2016. № 71. С. 98–99.
2. Вентцель Е. С. Теория вероятностей. М.: Наука, 1969. 576 с.

*Статья представлена научным руководителем, доктором технических наук, профессором С. О. Бурлаковым.*

УДК 621.397.13

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ И СЕТЕВЫХ ПАРАМЕТРОВ НА КАЧЕСТВО ОБЪЕМНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

**А. А. Гоголь, Е. И. Туманова**

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

*Качество телевизионного изображения, в том числе и объемного, определяется параметрами передающей системы. Эти параметры могут быть телевизионны-*

ми (четкость, яркость, частота воспроизведения кадров и т. д.), так и сетевыми (количество потерянных пакетов, полоса пропускания, джиттер и т. д.). В статье рассматриваются результаты экспериментального исследования влияния телевизионных и сетевых параметров на качество объемного телевизионного изображения.

оценка качества, объемное изображение, четкость.

О качестве телевизионных изображений можно судить по сетевым [1, 2] и по телевизионным параметрам [3]. Телевизионные изображения могут быть как двумерными, так и объемными: стереоскопические, многоракурсные, видео 360° и т. д. [4].

Для определения влияния сетевых и телевизионных параметров на качество объемного изображения было проведено экспериментальное исследование, в соответствии с рекомендацией МСЭ-R BT.2021 «Методы субъективной оценки систем стереоскопического 3D телевидения» [5].

В эксперименте принимали участие 30 экспертов (18 мужчин и 12 женщин). Средний возраст – 21 год. Наблюдатели были отсеяны по остроте зрения и стереоскопичности зрения, с помощью существующих тестов зрения: таблица Сивцева, и специальные тестовые изображения для определения стереоскопичности зрения.

Экспериментальное исследование проводилось в лабораторных условиях. Особое внимание уделялось комфортной «зоне просмотра».

В качестве метода исследования был выбран метод сравнения пар (*Pair Comparison*, PC). Экспериментальная структура эксперимента показана на рис. 1.

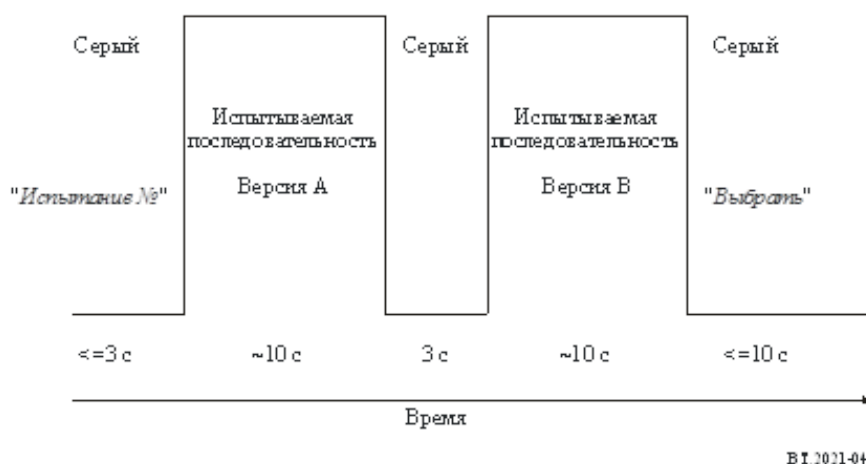


Рис. 1. Экспериментальная структура эксперимента

Каждая видео последовательность имела следующие характеристики: стереоскопическая стереопара левая, 1920×1080р, частота кадров 30 кадр/с. Каждая последовательность была длительностью 10 с. Пример одного из тестовых изображений представлен на рис. 2.



Рис. 2. Четкость в левом ракурсе стереопары 400 ТВЛ

Всего было подготовлено 9 видео последовательностей:

- четкость в левом ракурсе стереопары 400 ТВЛ, 300 ТВЛ, 200 ТВЛ;
- потеря пакетов в заданном диапазоне (1,5 %, 2 %, 3 %);
- ограничение пропускной способности (9,5 Мбит/с, 10 Мбит/с, 11 Мбит/с).

В данном эксперименте использовались ЖК мониторы Alienware Optx (23", 1920×1080p, 120 Гц) в комбинации с затворными очками Nvidia (*Nvidia 3D vision system*).

В качестве шкалы оценки была выбрана дифференцированная оценка предпочтений (А в сравнении с В): от –3 – намного хуже до 3 – намного лучше.

Для согласованности мнений экспертов был определен коэффициент конкордации [6]. Коэффициент конкордации изменяется от 0 до 1. Чем более согласованы мнения экспертов, тем он ближе к 1. Коэффициент конкордации определяется следующим образом:

$$W = \frac{12 * S}{n^2(m^3 - m)}$$

где  $S$  – сумма квадратов отклонений суммы рангов по каждому фактору и средней суммы рангов,  $m$  – число экспертов,  $n$  – число факторов.

Промежуточные расчеты проведены в таблицах 1–4.

При сравнении четкости в левом ракурсе стереопары и количестве потерянных пакетов использовались следующие факторы:

- $a_1$  – четкость (400 ТВ линий) в левом ракурсе стереопары;
- $a_2$  – четкость (300 ТВ линий) в левом ракурсе стереопары;
- $a_3$  – четкость (200 ТВ линий) в левом ракурсе стереопары;
- $a_4$  – количестве потерянных пакетов 1,5 %;
- $a_5$  – количестве потерянных пакетов 2 %;
- $a_6$  – количестве потерянных пакетов 3 %.

ТАБЛИЦА 1. Данные для оценки согласованности мнений в 1-ом сравнении

	a <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>	a <sub>3</sub>	a <sub>4</sub>	a <sub>5</sub>	a <sub>6</sub>	Сумма	Отклонение от среднего	Квадрат отклонения
a <sub>1</sub>	0	30	60	24	33	3	150	144	20736
a <sub>2</sub>	-30	0	30	6	33	42	81	75	5625
a <sub>3</sub>	-60	-30	0	27	30	30	-3	-9	81
a <sub>4</sub>	-18	-24	-18	0	30	60	30	24	576
a <sub>5</sub>	-24	-36	-15	-30	0	30	-75	-81	6561
a <sub>6</sub>	-27	-27	-3	-60	-30	0	-147	-153	23409
Итого:							36		56988

Рассчитаем коэффициент конкордации для первого сравнения:

$$W = 12 * 56988 / 36 * 26970 = 0,7.$$

Значение коэффициента конкордации равное 0,7 означает высокую согласованность мнений экспертов.

Определим долю факторов в общем объеме совокупности для первого сравнения (табл. 2).

ТАБЛИЦА 2. Доля факторов в общем объеме совокупности в 1-ом сравнении

Фактор	Расчет	Доля факторов, %	Ранг
a <sub>1</sub>	150/486	30,9	1
a <sub>2</sub>	81/486	16,7	3
a <sub>3</sub>	3/486	0,6	6
a <sub>4</sub>	30/486	6,2	5
a <sub>5</sub>	75/486	15,4	4
a <sub>6</sub>	147/486	30,2	2

При сравнении четкости в левом ракурсе стереопары и пропускной способности использовались следующие факторы:

a<sub>1</sub> – четкость (400 ТВ линий) в левом ракурсе стереопары;

a<sub>2</sub> – четкость (300 ТВ линий) в левом ракурсе стереопары;

a<sub>3</sub> – четкость (200 ТВ линий) в левом ракурсе стереопары;

a<sub>4</sub> – пропускная способность сети 9,5 Мбит/с;

a<sub>5</sub> – пропускная способность сети 10 Мбит/с;

a<sub>6</sub> – пропускная способность сети 11 Мбит/с.

ТАБЛИЦА 3. Данные для оценки согласованности мнений во 2-ом сравнении

	a <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>	a <sub>3</sub>	a <sub>4</sub>	a <sub>5</sub>	a <sub>6</sub>	Сумма	Отклонение от среднего	Квадрат отклонения
a <sub>1</sub>	0	30	60	27	-3	18	132	126,5	16002,3
a <sub>2</sub>	-30	0	30	24	0	15	39	33,5	1122,25
a <sub>3</sub>	-60	-30	0	27	-18	3	-78	-83,5	6972,25
a <sub>4</sub>	-18	-27	-15	0	30	60	30	24,5	600,25
a <sub>5</sub>	-6	15	24	-30	0	30	33	27,5	756,25
a <sub>6</sub>	-24	3	-12	-60	-30	0	-123	-128,5	16512,3
Итого:							33		41965,5

Рассчитаем коэффициент конкордации для второго сравнения:

$$W = 12 * 41965,5 / 36 * 26970 = 0,5.$$

Значение коэффициента конкордации равное 0,5 означает среднюю согласованность мнений экспертов.

Определим долю факторов в общем объеме совокупности для второго сравнения.

ТАБЛИЦА 4. Доля факторов в общем объеме совокупности во 2-ом сравнении

Фактор	Расчет	Доля факторов, %	Ранг
a <sub>1</sub>	132/435	30,3	1
a <sub>2</sub>	39/435	9,0	4
a <sub>3</sub>	78/435	17,9	3
a <sub>4</sub>	30/435	6,9	6
a <sub>5</sub>	33/435	7,6	5
a <sub>6</sub>	123/435	28,3	2

Субъективные оценки показали, что зрители более чувствительны к изменениям телевизионных параметров (четкость), чем к сетевым (потеря пакетов, пропускная способность).

Основным параметром, влияющим на качество объемных изображений, в первом случае является четкость 400ТВЛ в левом ракурсе стереоскопического изображения (30,9 %). На втором месте по значимости находится параметр – количество потерянных пакетов 3 % (30,2 %).

Во втором случае основным параметром, влияющим на качество объемных изображений, также была четкость 400ТВЛ в левом ракурсе стереоскопического изображения (30,3 %). На втором месте по значимости – пропускная способность сети 11 Мбит/с (28,3 %).

Таким образом, при разработке протоколов для передачи объемных изображений необходимо учитывать не только сетевые параметры, но и телевизионные.

#### Список используемых источников

1. Recommendation Y.1540 Internet protocol data communication service – IP packet transfer and availability performance parameters. – 2016.
2. Recommendation Y.1221 Traffic control and congestion control in IP-based networks. – 2010.
3. BT.709 : Parameter values for the HDTV standards for production and international programme exchange. – 2015.
4. Красильников Н. Н. Цифровая обработка 2D- и 3D-изображений: учеб. пособие. СПб.: БХВ-Петербург, 2011. 608 с.
5. Recommendation ITU-R BT.2021 Subjective methods for the assessment of stereoscopic 3DTV systems.
6. Шмойлова Р. А., Минашкин В. Г., Садовникова Н. А., Шувалова Б. Б. Теория статистики: учеб. / Под ред. Р. А. Шмойловой. М.: Финансы и статистика, 2005. 656 с.

УДК 681.3.06

## РЕАЛИЗАЦИЯ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ НА ЭЛЕМЕНТНОЙ БАЗЕ СО СВЕРХНИЗКИМ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЕМ

**А. К. Гринёва, И. И. Жуковский, А. Б. Степанов**

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

*Статья посвящена описанию процедуры реализации искусственных нейронных сетей на элементной базе со сверхнизким энергопотреблением, в качестве которой выступает микроконтроллер фирмы Texas Instruments. При реализации искусственных нейронных сетей использовалась традиционная технология написания С-кода и технология автоматической генерации С-кода с применением подсистемы динамического моделирования Simulink.*

*искусственная нейронная сеть, микроконтроллер, реализация, интегрированная среда разработки.*

Искусственные нейронные сети (ИНС) находят широкое применение в самых различных областях [1, 2]. Они представляют собой совокупность нейронов, объединенных связями с целью решения определённого круга задач [3]. Реализация ИНС может оказаться непростой задачей даже при использовании специализированного процессора. Целью данной рабо-



ты является попытка реализации искусственной нейронной сети на элементной базе, обладающей низкой производительностью, невысокой стоимостью и сверхнизким энергопотреблением. Для этого используется микроконтроллер (МК) фирмы Texas Instruments MSP430G2553. Данный МК реализован в DIP корпусе, обладает 20 пинами. Его максимальная тактовая частота составляет 16 МГц. Микроконтроллер обладает 16 Кбайт ПЗУ и 512 байтами ОЗУ. Данный микроконтроллер установлен на отладочную плату MSP430 LaunchPad Value Line Development kit (рис. 1).

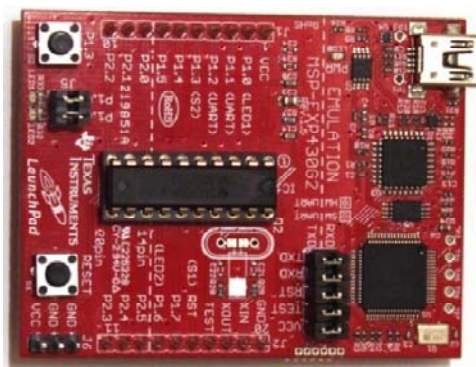


Рис. 1. Отладочная плата MSP430 LaunchPad Value Line Development kit

целью может применяться система MATLAB и специализированный пакет инструментов Neural Network Tool.

В работе выполняется моделирование и реализация многослойного персептрона с одним скрытым слоем (рис. 2).

Нейронная сеть имеет три нейрона в скрытом слое и один в выходном. При этом в первом случае используется логистическая функция активации, а во втором – линейная.

Многослойный персептрон находит широкое применение в обработке сигналов, в том числе при аппроксимации функций. Данная нейронная сеть может считаться упрощенным вариантом такой сети.

На рис. 3 показана модель реализуемой нейронной сети, построенная в MATLAB с использованием Neural Network Tool.

Микроконтроллер обладает следующим набором внутренней периферии: UART, 2 шестнадцатитбитных таймера, аппаратная поддержка I2C и SPI, десятибитный АЦП, компаратор, датчик температуры.

Отладочная плата имеет внешнюю периферию: два светодиода, пользовательскую кнопку, кнопку Reset, модули для распайки других устройств. Для отладки используется внутрисхемный эмулятор.

После выбора архитектуры и функций активаций нейронов происходит обучение нейронной сети. С этой

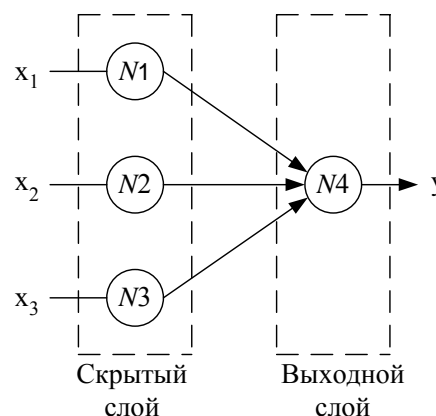


Рис. 2. Многослойный персептрон

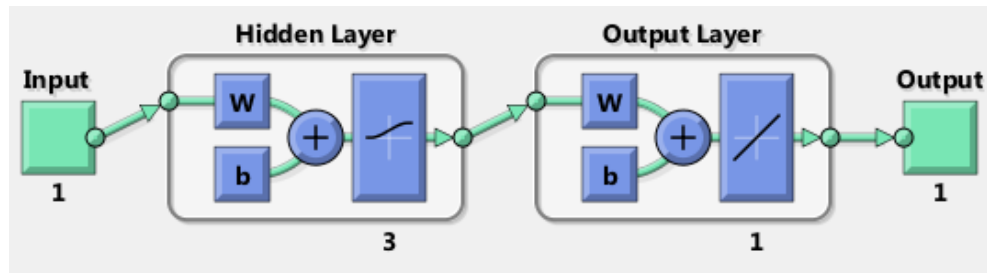


Рис. 3. Модель искусственной нейронной сети, полученной в MATLAB

После обучения нейронной сети и получения значений порогов и весовых коэффициентов был сгенерирован блок Simulink, описывающий данную сеть (рис. 4).

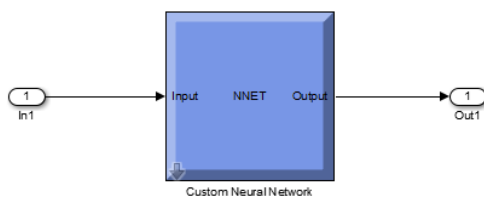


Рис. 4. Simulink-блок искусственной нейронной сети

Система MATLAB и подсистема динамического моделирования Simulink позволяет выполнять не только моделирование систем обработки сигналов, но также и их реализацию. При этом может осуществляться автоматическая генерация С-кода на основе М-файла или Simulink-модели. Рассмотрим процедуру генерации С-кода на основе Simulink-модели искусственной нейронной сети для выбранного микроконтроллера. Она включает в себя следующие этапы:

1. Модификация Simulink-модели искусственной нейронной сети. Для реализации на микроконтроллере необходимо подключить к блоку искусственной нейронной сети блоки, имитирующие входной и выходной порты. С этой целью будем использовать блоки In1 и Out1.

2. Настройка параметров Simulink-модели с учетом параметров целевого устройства. Также возможна установка параметров оптимизации кода по объему или быстродействию (рис. 5).

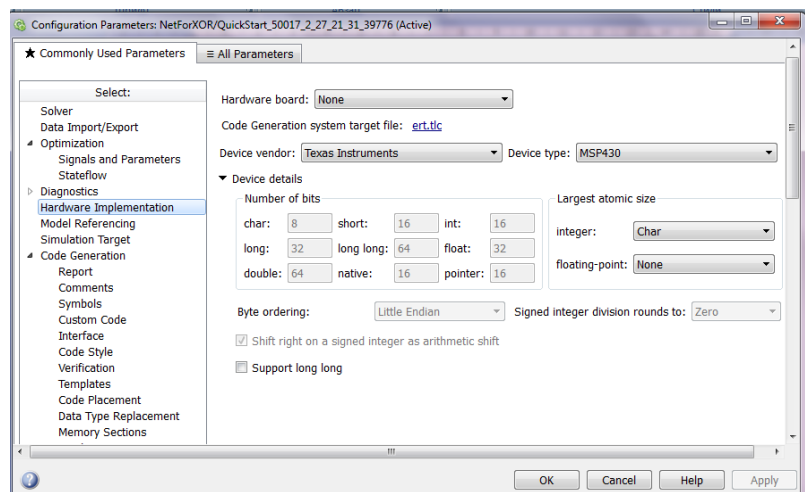


Рис. 5. Настройка Simulink-модели для реализации на микроконтроллере

3. Генерация С-кода, результатом которой является получение всех необходимых файлов для реализации проекта с применением интегрированной среды разработки Code Composer Studio (CCS), что подтверждает полученный отчет (рис. 6).

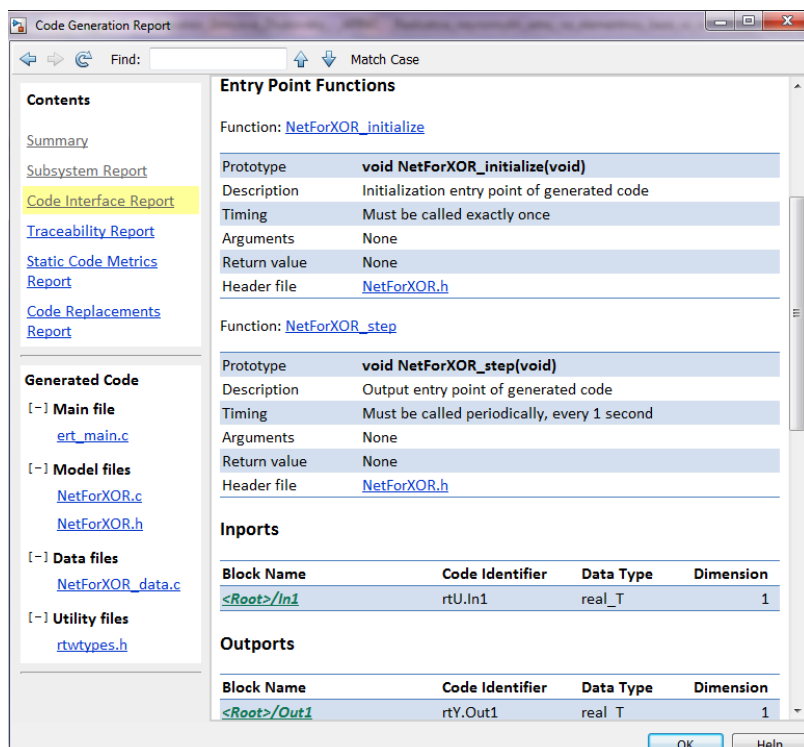


Рис. 6. Отчет о генерации С-кода

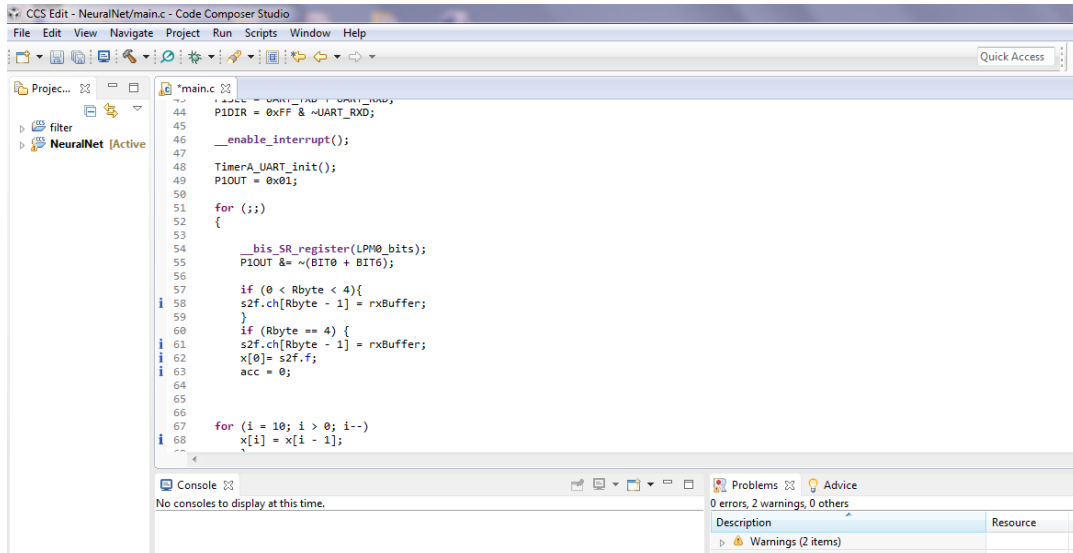
Полученный С-код ориентирован на работу с данными с плавающей точкой. Микроконтроллер MSP430G2553 поддерживает работу с данными с фиксированной точкой. Поэтому дополнительно необходимо к проекту подключать библиотеки, поддерживающие режим работы с плавающей точкой. Достоинством данной технологии является высокая скорость создания проекта и возможность оптимизации кода по объему и быстродействию. Недостатком является сложность чтения данного кода. Также недостатком является то, что полученный код направлен на использование только ядра микроконтроллера, при этом, для задействования периферии отладочной платы необходимы дополнения.

Вторым методом реализации искусственной нейронной сети является традиционная технология написания С-кода. Данный код был написан в текстовом редакторе интегрированной среды разработки CCS (рис. 7).

Данный код включает: настройку универсального асинхронного приёмопередатчика (UART), настройку ввода входного отсчета, программный код, описывающий связь нейронов с учетом порога и весовых коэффициентов, настройку вывода обработанного отсчета. Выражение для расчета значений на выходе отдельного нейрона имеет вид:

$$y = \varphi\left(\sum_{j=1}^m w_j x_j + b\right),$$

где  $x_1, x_2, \dots, x_m$  – входные сигналы,  $w_1, w_2, \dots, w_m$  – синаптические веса,  $b$  – порог,  $\varphi$  – функция активации,  $y$  – значение на выходе нейрона.



```

44  P1DIR = 0xFF & ~UART_RXD;
45
46  __enable_interrupt();
47
48  TimerA_UART_init();
49  P1OUT = 0x01;
50
51  for (;;)
52  {
53
54      __bis_SR_register(LPM0_bits);
55      P1OUT &= ~(BIT0 + BIT6);
56
57      if (0 < Rbyte < 4){
58          s2f.ch[Rbyte - 1] = rxBuffer;
59      }
60      if (Rbyte == 4) {
61          s2f.ch[Rbyte - 1] = rxBuffer;
62          x[0] = s2f.f;
63          acc = 0;
64
65
66
67      for (i = 10; i > 0; i--)
68          x[i] = x[i - 1];
69

```

Рис. 7. Вид окна интегрированной среды разработки CCS

Для загрузки/выгрузки данных на отладочную плату и для визуализации этих данных (рис. 8) использовались графические средства системы MATLAB. С этой целью был написан скрипт, взаимодействующий с USB-портом и воспринимающий его как виртуальный COM-порт.

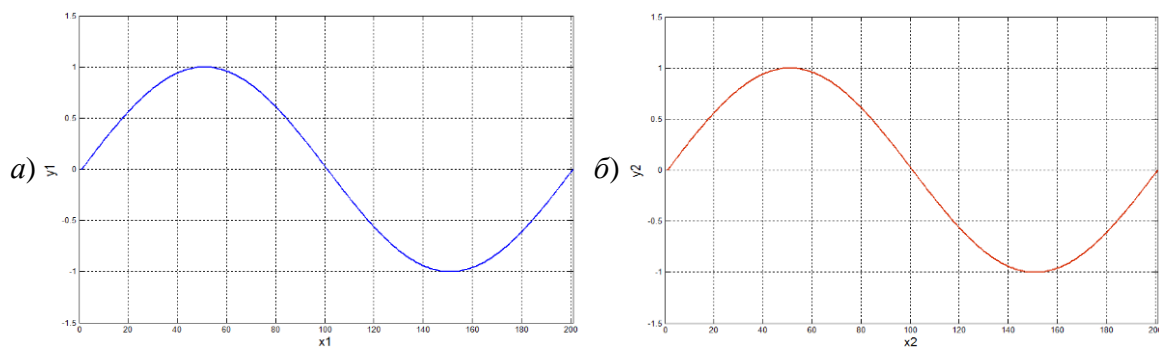


Рис. 8. График сигнала искусственной нейронной сети: а) на входе; б) выходе

Результатом работы является реализация искусственной нейронной сети на микроконтроллере MSP430G2553. Данная нейронная сеть может использоваться для аппроксимации простейшей функции. В случае аппроксимации функции, приведенной на рис. 8, среднее квадратическое отклонение аппроксимирующей функции от аппроксимируемой составило  $7,78 \times 10^{-5}$  отн. ед.

**Список используемых источников**

1. Хайкин С. Нейронные сети. М.: Вильямс, 2006. 1104 с.
2. Степанов А. Б., Матиящук Д. К. Моделирование нейронной сети с произвольной функцией активации в MATLAB // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании: материалы II Международно-технической и научно-методической конф., Санкт-Петербург, 27–28 февраля 2013 г. СПб.: СПбГУТ, 2013. С. 351–353.
3. Потемкин В. Г., Медведев В. С. Нейронные сети. MATLAB 6. М.: Диалог-МИФИ, 2002. 496 с.

**УДК 621.391.2****НАКОПЛЕНИЕ ФАЗОВОГО ДРОЖАНИЯ  
В ЦИФРОВОМ ЛИНЕЙНОМ ТРАКТЕ****В. Э. Гуревич**

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

*Тактовая синхронизация при посимвольном приеме цифрового сигнала поддерживается с помощью тактовых импульсов, формируемых из входного сигнала регенератора с помощью резонансных контуров, полосовых фильтров или устройств ФАПЧ. Из-за случайной структуры входного сигнала и других факторов фазовые положения выходных импульсов регенератора флуктуируют относительно тактовых точек. Фазовое дрожание (джиттер) накапливается от регенератора к регенератору. В работе исследуются закономерности накопления синфазного фазового дрожания в цифровом тракте, содержащем большое число регенераторов.*

*фазовое дрожание, цифровая система передачи, регенераторы, посимвольный прием, дисперсия фазы, импульсный случайный процесс, фазовая переходная характеристика, передаточная функция.*

Линейный тракт цифровой системы передачи информации может включать в себя большое количество регенераторов (Р). В каждом из них обычно осуществляется посимвольный прием цифрового сигнала. Строблирующие импульсы (СИ), задающие моменты решения, формируются из квазигармонического колебания тактовой частоты  $f_T$ , выделяемого из входного сигнала Р полосовым фильтром (ПФ) или системой фазовой автоподстройки частоты. Вследствие случайной структуры цифрового сигнала и ряда других факторов временные положения СИ флуктуируют относительно тактовых точек, отстоящих друг от друга на тактовый интервал  $T = 1/f_T$ , соответствующий фазовому углу  $2\pi$  радиан. Фазовое дрожа-

ние (ФД) передается от каждого  $P$  к следующему и накапливается вдоль линейного тракта.

Каждый  $P$  можно рассматривать и как источник (И) фазовых флуктуаций, и как ретранслятор ФД, поступающего на его вход от предыдущего  $P$  (рис. 1). Предполагается, что параметры всех  $P_i$  ( $i = 1, 2, \dots, N$ ), где  $N$  – количество  $P$  в тракте, идентичны, и каждый из них вносит одинаковое (в статистическом смысле) дрожание.

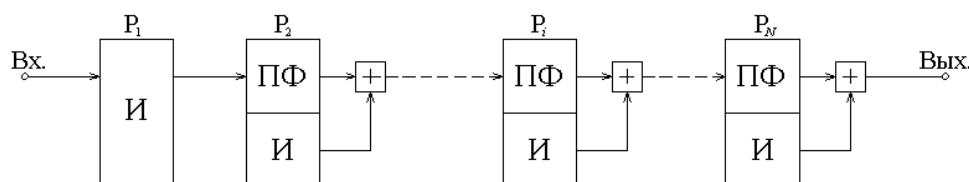


Рис. 1. Модель передачи ФД через регенераторы линейного тракта

Если принять, что случайные фазы СИ в пределах каждого тактового интервала  $T$  фиксированы и не коррелированы между собой, то можно моделировать [1] ФД неким фиктивным импульсным случайным процессом с детерминированным тактовым интервалом [2]. Тогда спектральная плотность среднего квадрата ФД на выходе одиночного  $P$ :

$$G(\Omega) = 2T \frac{\sin^2 \Omega T/2}{(\Omega T/2)^2} \left[ D_\varphi + \frac{2\pi}{T} \varphi_0^2 \delta(\Omega) \right], \quad (1)$$

где  $\Omega$  – «круговая частота» (угловая скорость) изменения фазы,  $\varphi_0$  – среднее значение,  $D_\varphi$  – дисперсия дрожания,  $\delta(\cdot)$  – символ дельта-функции.

Если на входе ПФ – одиночного резонансного контура, настроенного на частоту  $\omega_T$ , произошел мгновенный скачок фазы гармонического сигнала:

$$\varphi_{\text{вх}}(t) = \begin{cases} \varphi, & t \geq 0, \\ 0, & t < 0, \end{cases}$$

то «фазовая» переходная характеристика (ФПХ) имеет вид [1]:

$$\varphi_{\text{вых}}(t) = \arctg \frac{(1 - e^{-\alpha t}) \sin \varphi}{(1 - e^{-\alpha t}) \cos \varphi + e^{-\alpha t}}, \quad (2)$$

где  $\alpha = \omega_0/2Q$  – коэффициент затухания (половина полосы пропускания контура на уровне  $-3$  дБ),  $\omega_0$  – резонансная частота,  $Q$  – добротность контура. При точной настройке  $\omega_0 = \omega_T = 2\pi f_T$ .

Как видно из (2), резонансный контур по отношению к фазовым флуктуациям представляет собой нелинейное звено. В то же время при малых  $\varphi$  ФПХ может быть представлена в виде:

$$h(t) \cong (1 - e^{-\alpha t})\varphi. \quad (3)$$

Расчеты показывают, что модуль относительной погрешности линеаризации при  $Q = 100$  и  $\varphi \leq 0,5$  рад  $\div 1 - \varphi_{\text{вых}}(t) / h(t) \div \leq 0,04$ . ФПХ (3) соответствует, в терминах теории автоматического управления, передаточной функции (ПФ) инерционного устойчивого звена первого порядка:

$$K(j\Omega) = \frac{1}{1 + j\Omega\tau}, \quad (4)$$

где постоянная времени  $\tau = 1/\alpha = QT/\pi$ . Сопряженная частота, на которой входное дрожание  $P$  ослабляется на 3дБ,  $\Omega_1 = 1/\tau = \alpha$ .

Если расстройки ПФ всех  $P$  одинаковы по знаку, то ФД синфазно во всех  $P$ . В этом случае ПФ всего линейного тракта:

$$K_N(j\Omega) = \sum_{i=1}^N K^i(j\Omega) = \frac{1 - K^N(j\Omega)}{1 - K(j\Omega)}. \quad (5)$$

Средний квадрат ФД на выходе тракта согласно (4) и (5):

$$\begin{aligned} m\{\varphi_N^2\} &= \frac{1}{4\pi} \int_{-\infty}^{\infty} G[\Omega] \|K_N(j\Omega)\|^2 d\Omega = \\ &= \frac{1}{4\pi} \int_{-\infty}^{\infty} G(\Omega) \left[ 1 - \frac{1}{(1 + j\Omega\tau)^N} \right] \left[ 1 - \frac{1}{(1 - j\Omega\tau)^N} \right] \frac{1 + \Omega^2\tau^2}{\Omega^2\tau^2} d\Omega = \varphi_{0_N}^2 + D_{\varphi_N}, \end{aligned}$$

При  $0 \leq \Omega \leq \Omega_1$  отношение  $\sin^2(\Omega T/2)/(\Omega T/2)^2$ , входящее в (1), практически равно единице, а при  $\Omega > \Omega_1$  – нулю. Тогда на выходе тракта:

$$\begin{aligned} \varphi_{0_N}^2 &= \varphi_0^2 \int_{-\infty}^{\infty} F(\Omega) \delta(\Omega) d\Omega, \\ D_{\varphi_N} &= \frac{TD_\varphi}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} F(\Omega) d\Omega. \end{aligned} \quad (6)$$

Здесь введены вспомогательные функции:

$$\begin{aligned} F(\Omega) &= \left[ 1 + f_a(\Omega) - f_b(j\Omega) - f_c(j\Omega) \right] \left( 1 + \frac{1}{\Omega^2\tau^2} \right), \\ f_a(\Omega) &= \frac{1}{(1 + \Omega^2\tau^2)^N}, \quad f_b(j\Omega) = \frac{1}{(1 + j\Omega\tau)^N}, \quad f_c(j\Omega) = \frac{1}{(1 - j\Omega\tau)^N}. \end{aligned} \quad (7)$$

Поскольку  $\lim_{\Omega \rightarrow 0} F(\Omega) = N^2$ ,  $\varphi_{0_N} = N\varphi_0$ .

Представим выражение (6), с помощью (7), в виде суммы пяти интегралов  $I_1 \div I_5$ , каждый из которых найдем в отдельности. Так,

$$I_1 = \frac{TD_\varphi}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} d\Omega = D_\varphi.$$

$$I_2 = \frac{TD_\varphi}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} f_a(\Omega) d\Omega = \frac{TD_\varphi}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{d\Omega}{(1 + \Omega^2 \tau^2)^N}.$$

По формуле (3.249.1) работы [3], учитывая, что  $\tau = QT / \pi$ , получаем:

$$I_2 = \frac{TD_\varphi}{2\pi\tau} \frac{(2N-3)!!}{(2N-2)!!} = \frac{\pi}{2Q} D_\varphi \frac{(2N-3)!!}{(2N-2)!!}.$$

Для обеспечения сходимости других несобственных интегралов используем искусственный прием: в квадратную скобку выражения (7) добавим и затем вычтем единицу. Тогда

$$I_3 = \frac{TD_\varphi}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{f_a(\Omega) - 1}{\Omega^2 \tau^2} d\Omega = \frac{TD_\varphi}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1 - (1 + \Omega^2 \tau^2)^N}{\Omega^2 \tau^2 (1 + \Omega^2 \tau^2)^N} d\Omega.$$

Заменим переменную  $\Omega\tau = x$ , тогда

$$I_3 = \frac{TD_\varphi}{2\pi\tau} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1 - (1 + x^2)^N}{x^2 (1 + x^2)^N} dx.$$

Интегрируя по частям, можно записать:

$$\frac{1 - (1 + x^2)^N}{(1 + x^2)^N} = u, \quad \frac{dx}{x^2} = dv, \quad du = \frac{-2Nx}{(1 + x^2)^{N+1}}, \quad v = \frac{-1}{x},$$

$$I_3 = \frac{TD_\varphi}{2\pi\tau} \left( uv \Big|_{-\infty}^{\infty} - \int_{-\infty}^{\infty} v du \right) = \frac{TD_\varphi}{2\pi\tau} \left[ \frac{(1 + x^2)^N - 1}{x(1 + x^2)^N} \Big|_{-\infty}^{\infty} - \int_{-\infty}^{\infty} \frac{2Ndx}{(1 + x^2)^{N+1}} \right]. \quad (8)$$

Поскольку, как можно показать,  $\lim_{x \rightarrow 0} uv = \lim_{x \rightarrow \infty} uv = \lim_{x \rightarrow -\infty} uv = 0$ , первое слагаемое в квадратной скобке (8) равно нулю. Выражая второе слагаемое согласно формуле (3.249.1) [3] и подставляя значение  $\tau$ , получаем:

$$I_3 = -\frac{\pi}{2Q} D_\varphi \frac{(2N-1)!!}{(2N)!!}.$$

Для вычисления интегралов:



$$I_4 = \frac{TD_\varphi}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1 - f_b(j\Omega)}{\Omega^2 \tau^2} (1 + \Omega^2 \tau^2) d\Omega, \quad I_5 = \frac{TD_\varphi}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1 - f_c(j\Omega)}{\Omega^2 \tau^2} (1 + \Omega^2 \tau^2) d\Omega,$$

представим их подынтегральные аналитические функции комплексного переменного  $z = 1 \pm j\Omega t$  в виде:

$$\begin{aligned} f_4(\Omega) &= \frac{1 - f_b(j\Omega)}{\Omega^2 \tau^2} (1 + \Omega^2 \tau^2) = \\ &= \frac{1}{\Omega^2 \tau^2} + \frac{(j\tau)^N (\Omega - j/\tau)^N - 1}{(j\tau)^N (\Omega - j/\tau)^N} - \frac{1}{(j\tau)^N (\Omega - j/\tau)^N \Omega^2 \tau^2}; \\ f_5(\Omega) &= \frac{1 - f_c(j\Omega)}{\Omega^2 \tau^2} (1 + \Omega^2 \tau^2) = \\ &= \frac{1}{\Omega^2 \tau^2} + \frac{(-j\tau)^N (\Omega + j/\tau)^N - 1}{(-j\tau)^N (\Omega + j/\tau)^N} - \frac{1}{(-j\tau)^N (\Omega + j/\tau)^N \Omega^2 \tau^2}. \end{aligned}$$

В таком представлении ни одно из слагаемых указанных функций не содержит существенно особых точек. Обе функции имеют двукратные полюса в точке  $\Omega = 0$ , а также  $N$ -кратные полюса:  $f_4(\Omega)$  – в точке  $\Omega = j/\tau$ ,  $f_5(\Omega)$  – в точке  $\Omega = -j/\tau$ . Вычеты функции  $f_4(\Omega)$  в точках  $\Omega = 0$  и  $\Omega = j/\tau$  найдем по методу производных [4]. Опуская промежуточные выкладки, имеем:

$$\text{Res } f_4(0) = jN/\tau, \quad \text{Res } f_4(j/\tau) = -jN/\tau.$$

Аналогично для функции  $f_5(\Omega)$ :

$$\text{Res } f_5(0) = -jN/\tau, \quad \text{Res } f_5(-j/\tau) = jN/\tau.$$

Контурны интегрирования и особые точки функций  $f_4(\Omega)$  и  $f_5(\Omega)$  показаны на рис. 2а и рис. 2б соответственно.

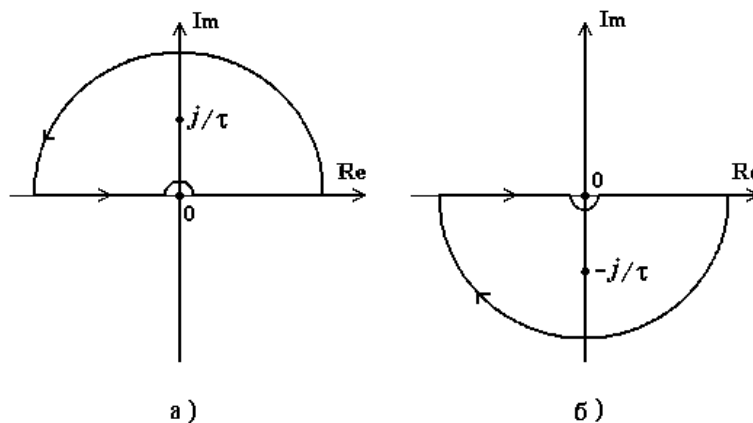


Рис. 2. Контурны интегрирования: а) функции  $f_4(\Omega)$ ; б) функции  $f_5(\Omega)$

Направление обхода контура на рис. 2а положительное (против часовой стрелки), а на рис. 2б – отрицательное, поэтому у обоих вычетов функции  $f_5(\Omega)$  знаки в дальнейшем изменены на обратные.

Суммируя полученные результаты и подставляя  $\tau = QT/\pi$ , имеем:

$$I_4 = \frac{TD_\varphi}{2\pi} \left[ 2\pi j \operatorname{Res} f_4(j/\tau) + \pi j \operatorname{Res} f_5(0) \right] = \frac{\pi}{2Q} ND_\varphi,$$

$$I_5 = \frac{-TD_\varphi}{2\pi} \left[ 2\pi j \operatorname{Res} f_4(-j/\tau) + \pi j \operatorname{Res} f_5(0) \right] = \frac{\pi}{2Q} ND_\varphi.$$

Коэффициент  $\pi j$  вместо  $2\pi j$  при  $\operatorname{Res} f_4(0)$  и  $\operatorname{Res} f_5(0)$  объясняется тем, что полюс в точке  $\Omega = 0$  расщеплен [4].

Дисперсия фазовых флуктуаций на выходе  $N$ -го регенератора:

$$D_{\varphi N} = \sum_{i=1}^5 I_i = D_\varphi \left\{ 1 + \frac{\pi N}{Q} + \frac{\pi}{2Q} \left[ \frac{(2N-3)!!}{(2N-2)!!} - \frac{(2N-1)!!}{(2N)!!} \right] \right\} \cong D_\varphi \left( 1 + \frac{\pi}{Q} N \right). \quad (9)$$

*Примечание:*  $0!! = (-1)!! = 1$ .

Дисперсия синфазного ФД растет вдоль цифрового тракта по практически линейному закону, но, с учетом множителя  $\pi/Q$ , медленно. Благодаря большой инерционности ПФ (или устройств ФАПЧ) каждый следующий  $P$  частично подавляет дрожание, поступающее от предыдущего  $P$ . По сравнению с выходным ФД первого  $P$  тракта дисперсия ФД удваивается при  $N \geq Q/\pi$ .

Итоговое соотношение (9) уточняет результаты, представленные в [1] и других работах, и может быть использовано для инженерной оценки ФД на выходе цифровой линии связи или ее любого  $P$ .

#### Список используемых источников

1. Гуревич В. Э., Лопушнян Ю. Г., Рабинович Г. В. Импульсно-кодовая модуляция в многоканальной телефонной связи. М.: Связь, 1973.
2. Левин Б. Р. Теоретические основы статистической радиотехники. Книга 1. М.: Советское радио, 1974.
3. Градштейн И. С., Рыжик И. М. Таблицы интегралов, сумм, рядов и произведений. М.: ГИФМЛ, 1963.
4. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. М.: Наука, 1968.

УДК 627.391.827

## ИССЛЕДОВАНИЕ РЕАЛЬНОЙ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ СИСТЕМЫ РАДИОДОСТУПА С КВАДРАТУРНОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ ПРИ ДЕФАЗИРОВАНИИ ОПОРНЫХ КОЛЕБАНИЙ

В. Э. Гуревич, Д. В. Девяткин, О. И. Харьков

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

*Рассматривается влияние дефазирования опорных колебаний на помехоустойчивость системы радиодоступа с квадратурной модуляцией. Проведенные теоретические расчеты, построенные математические и компьютерные модели, позволяют прогнозировать энергетические и вероятностные параметры системы с учетом неблагоприятных факторов, воздействующих на сигнал.*

*модуляция, КАМ, КФМ, спектр, сигнал, вероятность ошибки, система радиодоступа.*

Квадратурная фазовая модуляция (КФМ) является популярным методом модуляции сигнала в современных системах радиодоступа. При этом важным вопросом становится исследование реальной помехоустойчивости таких систем.

Расстояние между соседними точками сигнального созвездия в системе с КФМ равно [1]:

$$d = 2 \sin \frac{\pi}{N}, \quad (1)$$

где  $N$  – число уровней фазы (позиционность кода).

Согласно (1) вероятность ошибки на бит (BER):

$$P_E = \frac{1}{\log_2 N} \operatorname{erfc}(z), \quad (2)$$

где  $z = \frac{d}{2} (\log_2 N)^{\frac{1}{2}} \left( \frac{E_b}{N_0} \right)^{\frac{1}{2}}$ ,  $E_b$  – энергия на бит,  $N_0$  – спектральная плотность аддитивного белого гауссова шума.

Коэффициент  $\log_2 N$  здесь введен в предположении, что ошибочное опознание многопозиционного символа приводит к ошибке только в одном бите этого символа [2].

Рассчитанная по формуле (2) зависимость BER от отношения сигнал/шум (ОСШ) при условии точного фазирования опорных колебаний синфазного I и квадратурного Q каналов представлена на рис. 1.

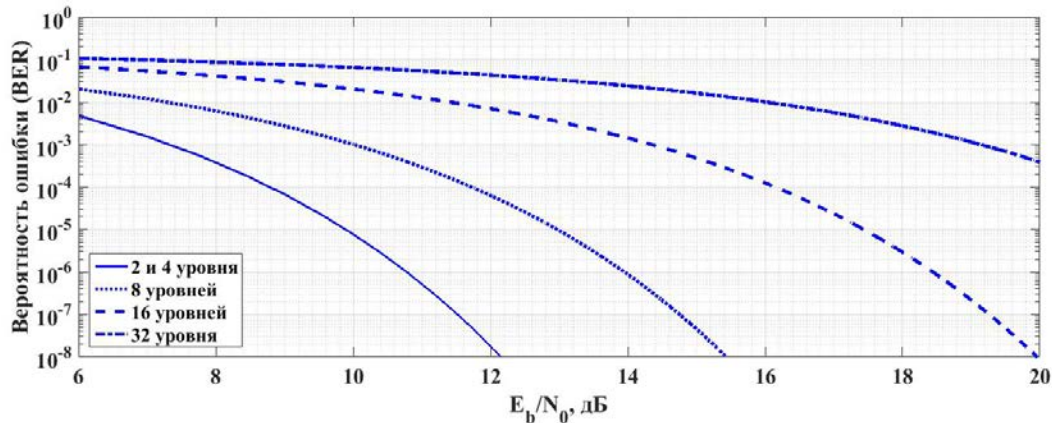


Рис. 1. Зависимость BER от ОСШ при различной позиционности кода

В этом случае суммарный сигнал равен  $S(t) = S_Q(t) \cos \omega_0 t + S_I(t) \sin \omega_0 t$ , где  $S_Q(t)$  и  $S_I(t)$  – информационные потоки квадратурных каналов.

Если имеет место дефазирование, то есть разность начальных фаз опорных колебаний каналов I и Q отличается от номинального значения  $90^\circ$ , то ОСШ уменьшается, реальная помехоустойчивость системы ухудшается.

Рассмотрим зависимость BER от ОСШ в синфазном канале, обозначив отклонение разности фаз опорных колебаний от  $90^\circ$  через  $\Delta\varphi$ . В этом случае сигнал на выходе демодулятора синфазного канала:

$$\begin{aligned}
 u_1(t) &= S(t) \cdot \sin(\omega_0 t + \Delta\varphi) = [S_Q(t) \cos \omega_0 t + S_I(t) \sin \omega_0 t] \cdot \sin(\omega_0 t + \Delta\varphi) = \\
 &= S_Q(t) \cos \omega_0 t \cdot \sin(\omega_0 t + \Delta\varphi) + S_I(t) \sin \omega_0 t \cdot \sin(\omega_0 t + \Delta\varphi) = \\
 &= \frac{S_Q(t)}{2} [\sin(2\omega_0 t + \Delta\varphi) + \sin \Delta\varphi] + \frac{S_I(t)}{2} [\cos \Delta\varphi - \cos(2\omega_0 t + \Delta\varphi)] = \\
 &= \frac{S_Q(t)}{2} \sin(2\omega_0 t + \Delta\varphi) - \frac{S_I(t)}{2} \cos(2\omega_0 t + \Delta\varphi) + \frac{S_Q(t)}{2} \sin \Delta\varphi + \frac{S_I(t)}{2} \cos \Delta\varphi.
 \end{aligned} \tag{3}$$

Два первых слагаемых выражения (3) подавляются фильтром нижних частот. В итоге сигнал на выходе синфазного канала:

$$u_1(t) = \frac{S_I(t)}{2} \cos \Delta\varphi + \frac{S_Q(t)}{2} \sin \Delta\varphi. \tag{4}$$

Из (4) видно, что при  $\Delta\varphi \neq 0$  происходит частичное проникновение сигнала из канала Q в канал I, а «свой» сигнал ослабляется. Это проникновение (межканальная переходная помеха) тем сильнее, чем больше степень нарушения ортогональности опорных колебаний. Аналогичное заключение, с точностью до знака переходной помехи, справедливо и для квадратурного канала.

Таким образом, при дефазировании опорных колебаний:

$$P_E = \frac{1}{\log_2 N} \operatorname{erfc}(z_{\Delta\phi}), \quad (5)$$

где  $z_{\Delta\phi} = \left(\frac{d}{2} - \Delta\phi\right) (\log_2 N)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{E_b}{N_0}\right)^{\frac{1}{2}}$ . Здесь угол  $\Delta\phi$  выражен в радианах, а на графиках, для наглядности, в градусах.

Рассчитанная по формуле (5) зависимость BER от ОСШ при дефазировании опорных колебаний синфазного и квадратурного каналов представлена на рис. 2.

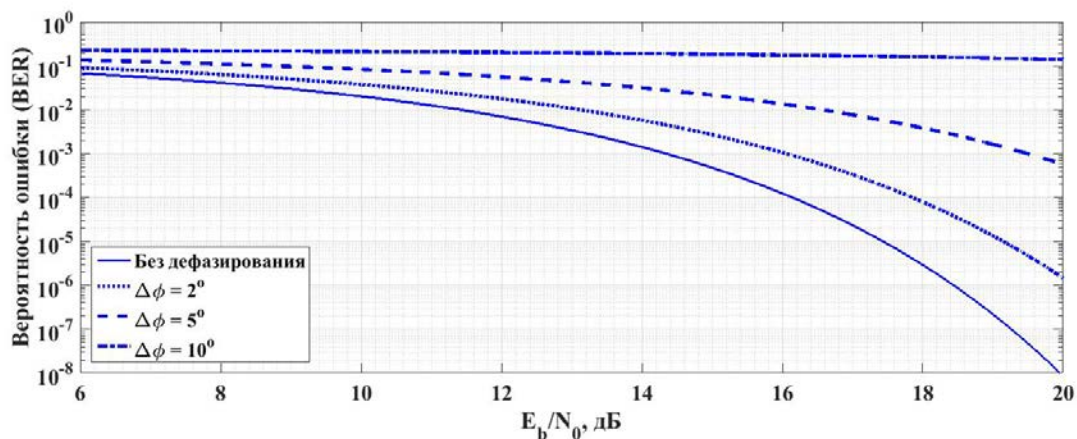


Рис. 2. Зависимость BER от ОСШ в системе КФМ-16 при фиксированном рассогласовании опорных колебаний

В общем случае угол  $\Delta\phi$  является случайной величиной с плотностью вероятности  $W(\Delta\phi)$ . При этом средняя по  $\Delta\phi$  вероятность ошибки:

$$P_E = \frac{1}{\log_2 N} \int_{-\Delta\phi_{\max}}^{\Delta\phi_{\max}} \operatorname{erfc}(z_{\Delta\phi}) W(\Delta\phi) d\Delta\phi, \quad (6)$$

Рассмотрим два примера статистического анализа.

Пример № 1. Допустим, что случайный угол  $\Delta\phi$  распределен по равномерному закону и  $-\Delta\phi_{\max} \leq \Delta\phi \leq \Delta\phi_{\max}$  (рис. 3).

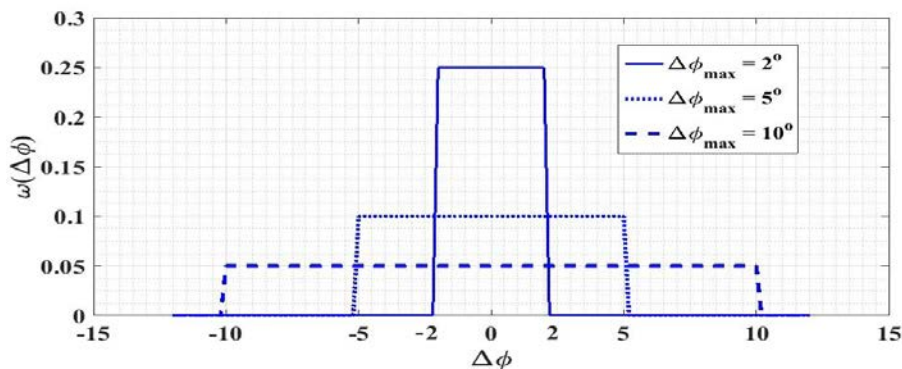


Рис. 3. Равномерная плотность вероятности угла  $\Delta\phi$

Результаты расчета зависимости BER от ОСШ в системе КФМ-16 для этого случая приведены на рис. 4.

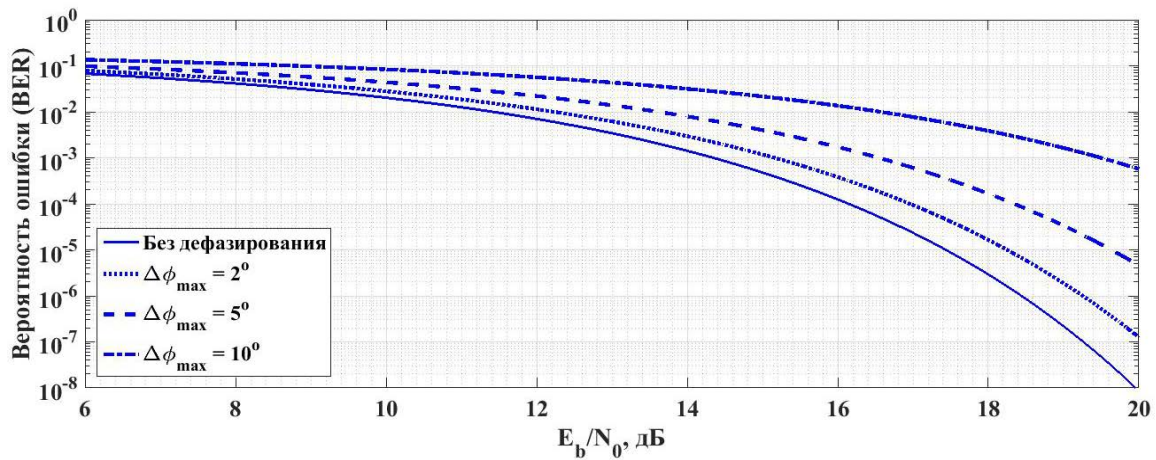


Рис. 4. Зависимость BER от ОСШ при равномерном законе распределения угла  $\Delta\varphi$

Пример № 2. Пусть распределение угла  $\Delta\varphi$  – усеченное нормальное и  $-\Delta\varphi_{\max} \leq \Delta\varphi \leq \Delta\varphi_{\max}$  (рис. 5), с плотностью вероятности:

$$W(\Delta\varphi) = \frac{1}{a\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(\Delta\varphi)^2}{2\sigma^2}},$$

где  $a = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \left[ \int_0^{\Delta\varphi_{\max}} e^{-\frac{(\Delta\varphi)^2}{2\sigma^2}} d\Delta\varphi - \int_0^{-\Delta\varphi_{\max}} e^{-\frac{(\Delta\varphi)^2}{2\sigma^2}} d\Delta\varphi \right]$  – нормирующий множитель,  $\sigma$  – среднеквадратическое отклонение угла  $\Delta\varphi$ .

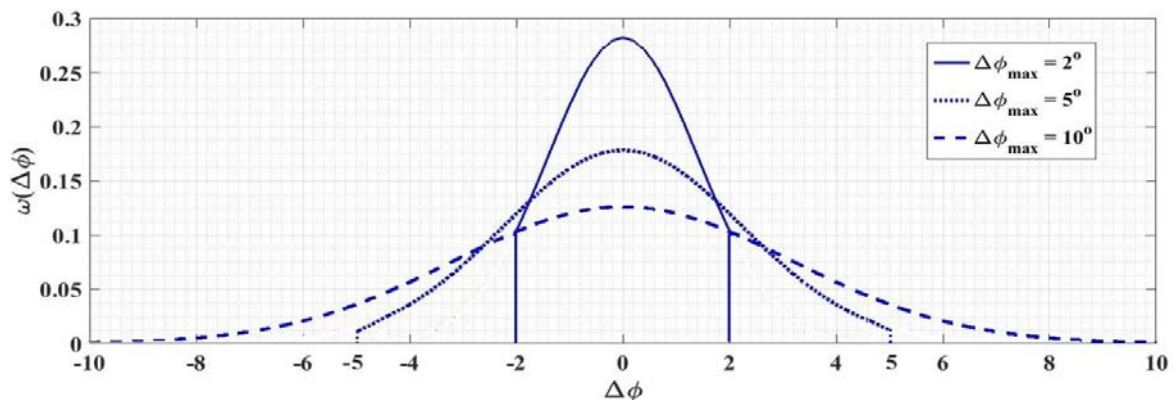


Рис. 5. Плотность вероятности угла  $\Delta\varphi$

Результаты расчета BER в системе с КФМ-16 для этого случая приведены на рис. 6.



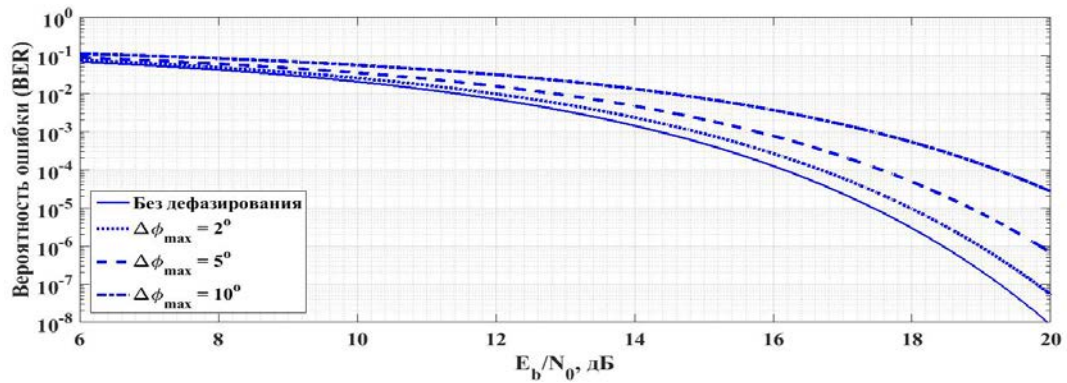


Рис. 6. Зависимость BER от ОСШ при усеченном нормальном законе распределения угла  $\Delta\phi$

В рамках настоящего исследования на основе среды Matlab [3] разработана программа, позволяющая моделировать сигнальные созвездия для систем с КАМ и КФМ, строить зависимости BER от ОСШ с учетом дефазирования опорных колебаний. Интерфейс программы с пояснениями функционала окон показан на рис. 7.

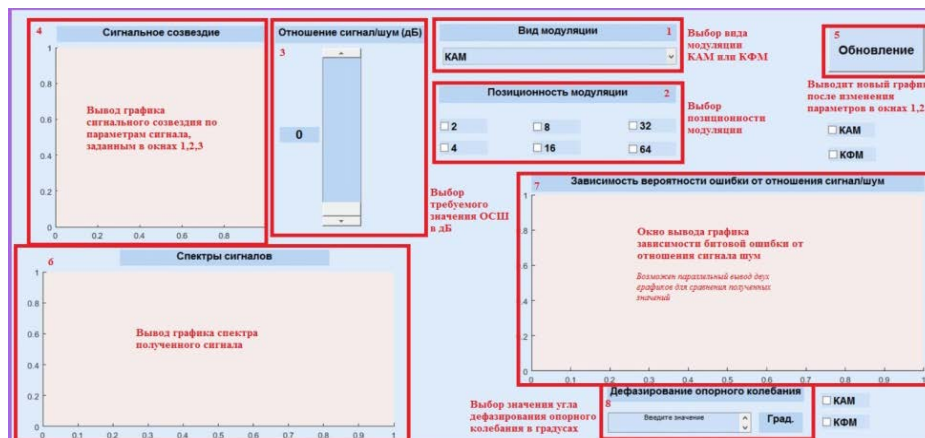


Рис. 7. Интерфейс программы

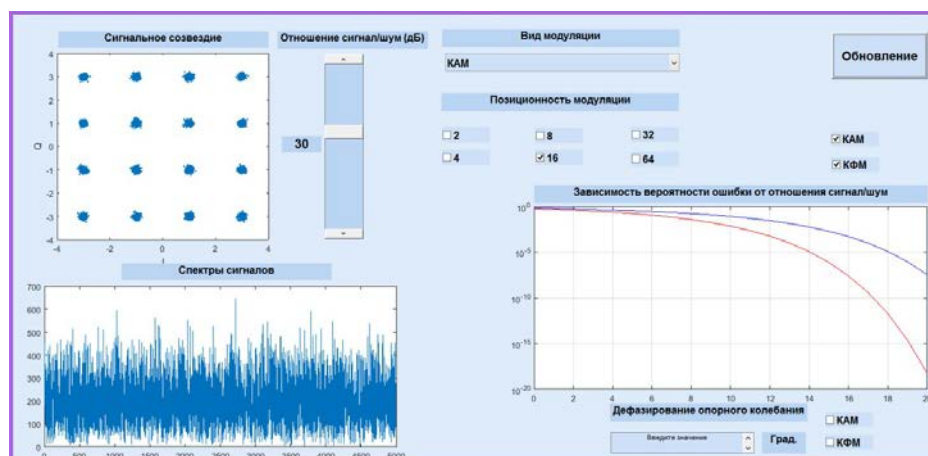


Рис. 8. Пример результата работы программы

На рис. 8 в качестве примера представлен результат работы программы: сигнальное созвездие для КАМ-16 при ОСШ 30 дБ, спектр сигнала и зависимость BER от ОСШ при  $\Delta\varphi = 0$  (красная линия) в сравнении с КФМ-16 (синяя линия) при одинаковых позиционностях кодов.

Функционал программы позволяет использовать ее как при проектировании систем радиосвязи, так и для проведения лабораторных работ студентов по курсу «Радиотехнические системы передачи информации».

#### Список используемых источников

1. Прокис Дж. Цифровая связь: пер. с англ. / Под ред. Д. Д. Кловского. М.: Радио и связь. 2000. 800 с.: ил.
2. Беллами Дж. Цифровая телефония. М.: Эко-Трендз, 2004. 640 с.: ил.
3. Дьяконов В. П. MATLAB и SIMULINK для радиоинженеров. М.: ДМК Пресс, 2011. 976 с.: ил.

УДК: 621.396.677

## ВЛИЯНИЕ НЕЛИНЕЙНЫХ ИСКАЖЕНИЙ ШИРОКОПОЛОСНЫХ СИГНАЛОВ НА ТОЧНОСТЬ СИСТЕМЫ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ

**В. Э. Гуревич, С. Г. Егоров**

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

*Точность определения местоположения объектов в пространстве является важнейшим показателем качества работы радиолокационных комплексов. Рассматривается метод определения местоположения цели, основанный на использовании широкополосных сигналов. Исследуются искажения сигналов с прямым расширением спектра, вызванные нелинейностью амплитудных характеристик трактов передачи, при воздействии аддитивного белого гауссовского шума. Приведены оценки точности позиционирования, полученные путем имитационно-статистического моделирования.*

*нелинейные искажения, CDMA, функции Уолша, корреляционные свойства, многоцелевое обнаружение, дальномерная система, местоположение цели.*

Точность определения местоположения объекта является важной характеристикой, определяющей качество функционирования радиотехнической системы по ее целевому предназначению [1]. Повышение точности измерения координат воздушных и наземных объектов является актуальной задачей. Рассмотрим систему позиционирования (СП) предназначенную для определения местоположения нескольких целей, в которой ис-



пользуются сигналы с расширенным спектром (DSSS – *Direct Sequence Spread Spectrum*). Геометрическую интерпретацию задачи определения дальности и состав аппаратуры СП иллюстрирует рис. 1. Приемник и передатчик СП физически расположены в одном устройстве. Оценка дальности происходит в блоке вычисления дальности (рис. 2). Ниже оценивается влияние искажений, вносимых нелинейным усилителем (НУ), на точность позиционирования.

Выбор кодовых последовательностей для дальномерных систем рассмотрен в работе [2]. В частности, применяются ортогональные функции Радемахера-Уолша.

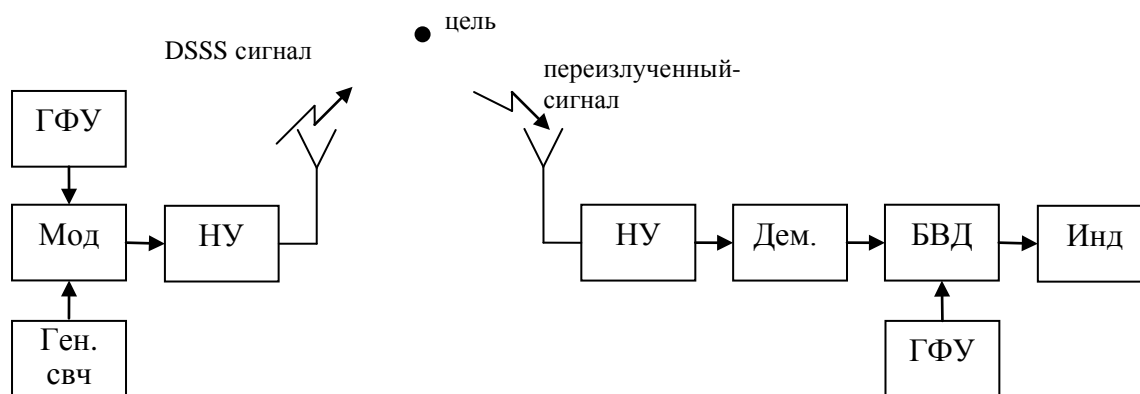


Рис.1. Структурная схема радара с расширением спектра:  
ГФУ – генератор функций Уолша, Мод – модулятор, Дем – демодулятор,  
НУ – нелинейный усилитель, ДП – детектор пиков,  
БВД – блок вычисления дальности, Инд – индикатор дальности

Например, если длительность интервала ортогональности кодовой последовательности составляет  $T = 10,24$  мкс [3], а базис ортогональности  $N = 2^8 = 256$ , то длительность одного чипа  $T_{\text{чип}} = T/N = 40$  нс и разрешающая способность радара  $\Delta R = 0,5cT_{\text{чип}} = 6$  м, где  $c = 3 \cdot 10^8$  м/с – скорость света,  $\tau = mT_{\text{чип}}$  – задержка, выраженная через длительность чипа,  $m$  – количество чипов. Максимальная дальность зависит от интервала ортогональности и при указанных исходных данных составляет  $R_{\text{max}} = 0,5cNT_{\text{чип}} = 1536$  м.

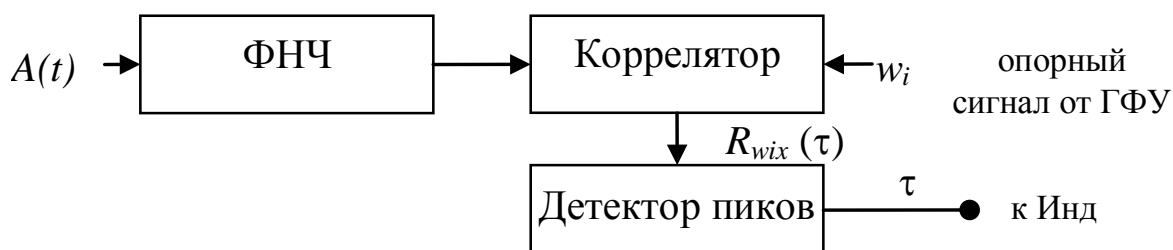


Рис. 2. Блок вычисления дальности

Алгоритм измерения дальности в таких системах основывается на вычислении расстояний между пиками взаимной корреляционной функции (ВКФ) опорного сигнала и принятой кодовой последовательности (рис. 3). Для примера выбрана 28-я функция Уолша; на этом рисунке  $t_{\text{пик}}$  – момент детектирования пика опорного сигнала,  $R_{28,28}$  – ВКФ опорной функции Уолша и принятого сигнала.

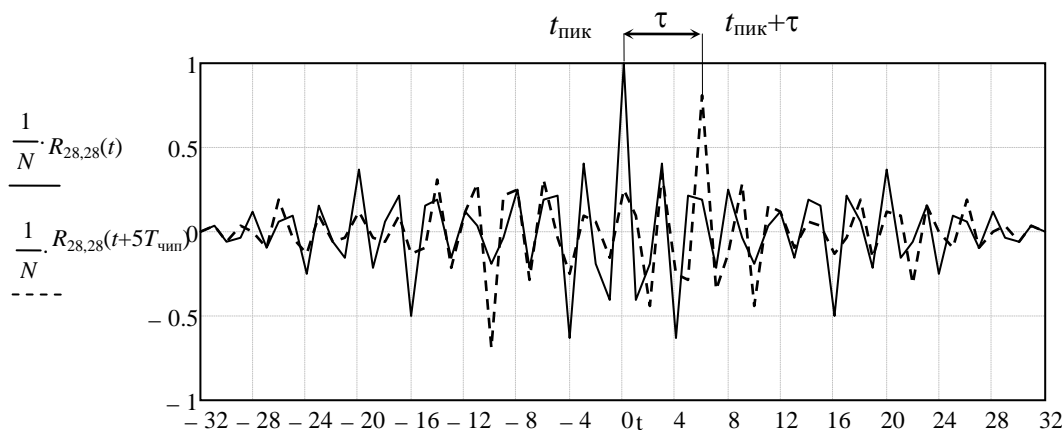


Рис. 3. ВКФ на входе детектора пиков при наличии одного (отраженного или переизлученного) сигнала

Если на входе приемника кроме полезного сигнала действуют мешающие сигналы (например, при наличии нескольких целей) то ВКФ на входе детектора пиков:

$$R_{wx}(t) = \int_0^T w(t) \left( x(t + \tau_x) + \sum_{m=1}^M y_m(t + \tau_m) \right) dt,$$

где  $w(t)$  – функция Уолша  $x(t)$  – полезный сигнал,  $y(t)$  – мешающие сигналы, а ВКФ функций Уолша определяются выражениями:

$$R_{w_i, w_k}(l) = C_{k,i}(l - N) \cdot T_c + [C_{k,i}(l - N + 1) - C_{k,i}(l - N)](t - l \cdot T_c). \quad (1)$$

Здесь  $l$  – целочисленная часть дроби  $\tau/T_{\text{чип}}$ ,  $i, k$  – номера функций Уолша, дискретная аperiodическая ВКФ [4], [5]:

$$C_{k,i}(l) = \begin{cases} \sum_{j=0}^{N-1-l} w_j^{(k)} w_{j+1}^{(i)}, & \text{если } 0 \leq l \leq N - 1 \\ \sum_{j=0}^{N-1-l} w_{j-l}^{(k)} w_j^{(i)}, & \text{если } -N + 1 \leq l < 0 \end{cases}.$$

Если на вход приемника поступает сигнал от нескольких целей, то

$$A(t) = x(t + \tau_x) + \sum_{m=1}^M y_m(t + \tau_m).$$

Амплитудную характеристику НУ удобно представить в виде:

$$G(A) = kA \left[ 1 + (kA/s)^{2p} \right]^{-\frac{1}{2p}}, \quad (2)$$

где  $k$  – коэффициент усиления,  $s$  – порог ограничения,  $p$  – целочисленный параметр, определяющий степень нелинейности АХ [6].

Нелинейное преобразование смеси  $x(t)$  сигнала с аддитивным шумом в НУ представим, следуя [6], [7], как добавление к полезному сигналу  $g_{i,k}$  помехи, состоящей из двух разделяющихся частей: мультипликативной – коррелированной и аддитивной – не коррелированной с этим сигналом. Тогда выходной процесс в пределах отдельно взятого чипа

$$y(t) = \gamma g_{i,k} + \xi(t), \quad (3)$$

где  $\gamma g_{i,k}$  – полезная (информативная) часть выходной смеси,  $(1 - \gamma)g_{i,k}$  и  $\xi(t)$  – коррелированная и некоррелированная с  $g_{i,k}$  составляющие помехи,  $0 \leq \gamma \leq 1$  – числовой коэффициент. Расчет мощности полезного сигнала на выходе НУ выполнен по (3) согласно методике, описанной в [6].

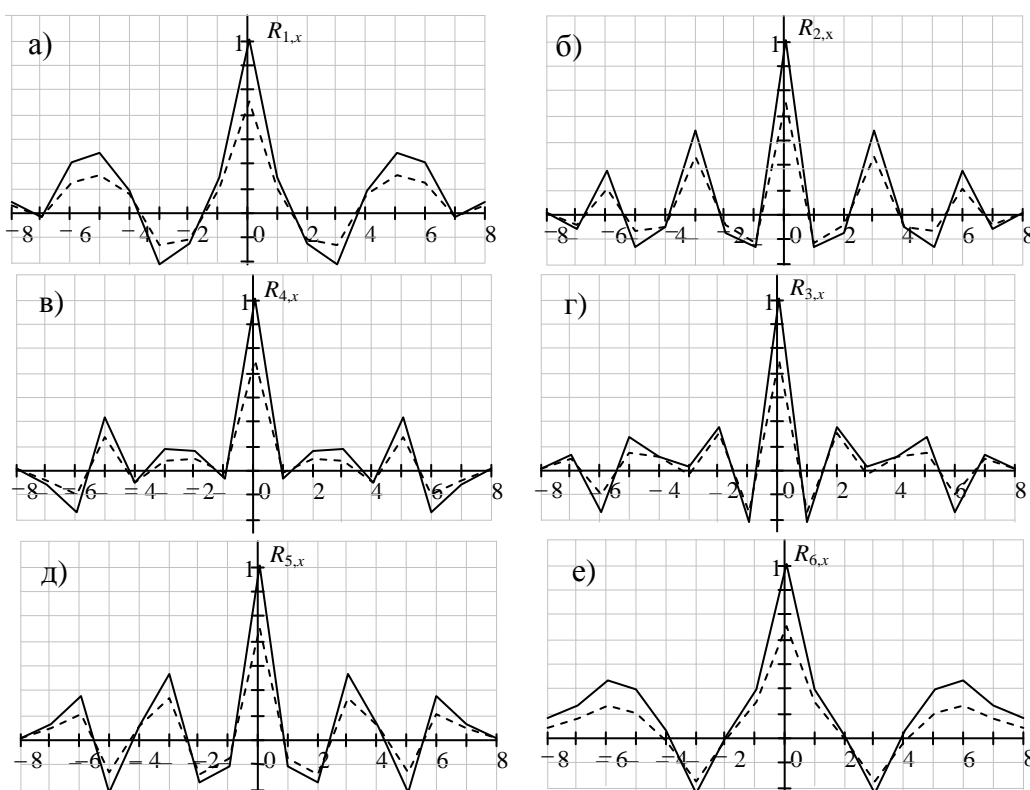


Рис. 4. ВКФ принятого сигнала  $x(t)$  и 1-й (а), 2-й (б), 3-й (в), 4-й (г), 5-й (д), 6-й (е) опорной функции Уолша

По формулам (1–3) построены графики (см. рис. 4) нормированных относительно базиса ортогональности  $N = 8$  ВКФ для первых шести функций Уолша. Графики построены при наличии и отсутствии нелинейных

искажений (НИ), при параметрах амплитудной характеристики НУ  $p = 1$ ,  $s = N-1$ ,  $k = 1$  и отношении  $c/\text{ш} = 10$  дБ.

Представленные аналитические выражения и графики могут быть использованы для решения вопросов компенсации нелинейных искажений и исследования межканальных влияний в навигационных системах позиционирования с широкополосными сигналами.

#### Список используемых источников

1. Ашмин А. В., Козьмин В. А. Радиомониторинг. Задачи, методы, средства. М.: Горячая Линия – Телеком, 2006. 504 с.
2. Susanna Spinsante, Ennio Gambi. Spread Spectrum Radar Technology for Automotive Applications: State of the Art and New Proposals.
3. Jau P. H. et al. Signal processing for harmonic pulse radar based on spread spectrum technology // IET Radar, Sonar & Navigation. 2014. Т. 8. №. 3. С. 242–250.
4. Geraniotis E., Pursley M. Error probability for direct-sequence spread-spectrum multiple-access communications-Part II: Approximations // IEEE Transactions on Communications. 1982. Т. 30. №. 5. С. 985–995.
5. Дядюнов Н. Г., Сенин А. И. Ортогональные и квазиортогональные сигналы. Под ред. Е. М. Тарасенко. М.: Связь, 1977. 224 с.
6. Гуревич В. Э., Егоров С. Г. Исследование нелинейных искажений радиосигнала в системе CDMA с квадратурно-амплитудной модуляцией // Информационно-управляющие системы. 2015. № 5. С. 106–115.
7. Харкевич А. А. Борьба с помехами. 4-е изд. М.: Книжный дом «Либроком», 2013. 280 с.

УДК 621.396.67

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ МИКРОВОЛНОВЫХ СТУПЕНЧАТЫХ ЭЛЛИПТИЧЕСКИХ ФИЛЬТРОВ

**Н. О. Дёшина, А. Р. Кубалова, Т. А. Рыжикова**

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

*Методы проектирования микроволновых ступенчатых эллиптических фильтров широко используются при разработке современных радиолокационных систем, они обеспечивают высокие электрические характеристики по сравнению с существующими радиосистемами, миниатюрны и удобны в эксплуатации. Ступенчатые эллиптические фильтры при проектировании допускают два варианта: вход и выход с одной стороны фильтра и вход, и выход с разных сторон фильтра. Это свойство позволяет инженеру-разработчику включать фильтр в радиоаппаратуру по различной схеме. Включая в электрическую схему эллиптического фильтра не два единичных элемента, как в обычном ступенчатом эллиптического фильтра, а четыре элемента, можно до-*

*биться преобразования двухпортового эллиптического фильтра в четырехпортовый. Подробно излагается метод проектирования эллиптического фильтра Роудса.*

*ступенчатые фильтры, радиосистемы фильтр Роудса, многопроводные линии.*

Одним из вариантов физической реализации полосно-пропускающего эллиптического фильтра (ЭФ) СВЧ является структура из двух параллельно соединенных решеток, связанных многопроводных линий передачи со скачком волновой проводимости. В подобных фильтрах применяются решетки из параллельно соединенных стержней или микрополосков [1, 2] одинаковой, либо различной электрической длины. Если длины решёток разные, то резонаторы закорочены на землю с обеих сторон и могут иметь скачок волнового сопротивления в произвольном сечении. Такая структура позволяет удовлетворительно реализовать узкополосные характеристики (относительная ширина полосы пропускания  $w \leq 5\%$ ).

Достоинство устройств на резонаторах различной длины заключается в дополнительной прочности, обеспечиваемой соединением обоих концов резонаторных стержней со стенками корпуса. Однако расположение входа и выхода с одной стороны вызывает трудности при включении такого устройства в тракт СВЧ. Обычно при проектировании СВЧ-аппаратуры данную проблему решают с помощью дополнительных отрезков соединительных линий, что влечет за собой увеличение веса, габаритов и ухудшение электрических характеристик эллиптического фильтра.

В разработанном фильтре предлагается предусмотреть альтернативный способ включения устройства в тракт с помощью использования четырёх, вместо обычных двух, трансформирующих секций и введения двух дополнительных портов.

В работе [3] Роудсом высказана мысль, что структура ступенчатого эллиптического фильтра на резонаторах различной электрической длины допускает два варианта двухпортовой реализации: когда входной и выходной порты расположены либо с одной, либо с противоположных сторон устройства. Между тем, насколько известно авторам публикуемой статьи, получение четырёхпортовой структуры на основе фильтра Роудса до сих пор в литературе не освещалось. Ниже представлено теоретическое и экспериментальное исследование микроволнового ступенчатого эллиптического фильтра с четырьмя портами.

### *Методика расчёта четырёхпортового эллиптического фильтра*

Расчёт полуволнового ступенчатого эллиптического фильтра на стержневых резонаторах представлен в работе [4]. По заданным техническим требованиям определяется фильтр-прототип нижних частот (ФПНЧ) с помощью таблиц Заала [5]. Воспользовавшись частотным

преобразованием от фильтра нижних частот (ФНЧ) к полосно-пропускающему фильтру (ППФ) и преобразованием Ричардса [6].

$$\Omega_{\text{НЧ}} \rightarrow a \cdot \left( \frac{\text{tg}(\theta)}{\text{tg}(\theta_0)} - \frac{\text{tg}(\theta_0)}{\text{tg}(\theta)} \right),$$

где  $\text{tg}(\theta)$  – новая частотная переменная,  $\theta_0$  – нормирующая электрическая длина линий,  $a$  – масштабный частотный коэффициент.

Переходим от ФНЧ на сосредоточенных элементах к ППФ из отрезков линий передачи одинаковой длины (рис.1) [6].

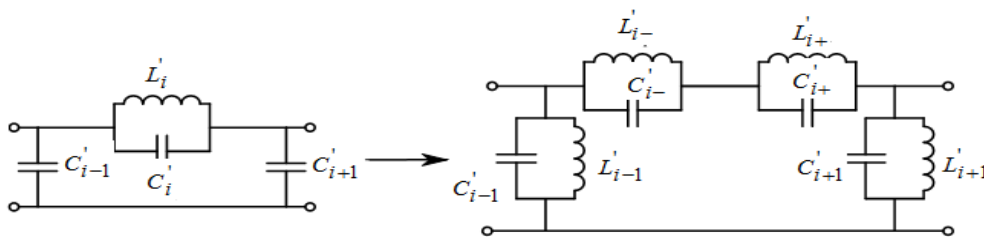


Рис. 1. Частотное преобразование П-секции эллиптического ФНЧ в П-секцию эллиптического ППФ

Масштабный коэффициент,  $a$  зависит от полосы пропускания фильтра и  $\theta_0$ . При  $w \leq 5\%$  можно применить узкополосный коэффициент:

$$a = \frac{|\sin(2\theta_0)|}{2\theta_0} \cdot \frac{f_0}{\Delta f},$$

где  $f_0$  – центральная частота фильтра;  $\Delta f = f_2 - f_1$  – полоса пропускания фильтра.

В случае если полная электрическая длина одного отрезка линии равна  $\pi$ , величину  $\theta_0$  можно задавать в пределах  $\pi/6 \leq \theta_0 \leq \pi/3$ . Задавая нормирующую электрическую длину линии, переходим от структуры из закороченных и разомкнутых отрезков линий к структуре из закороченных с обеих сторон полуволновых резонаторов различной длины со скачком волновой проводимости в сечении  $\theta_0$  (см. рис. 2) [3].

Это преобразование можно провести путём решения системы уравнений (1) для LA и LB каждого резонатора:

$$\begin{cases} C' \text{tg}^2(\theta_0) - \frac{1}{L'} = \frac{1}{L_A} - \frac{1}{L_B} \\ C' \text{tg}^2(\theta_0) + \frac{1}{L'} = \frac{\pi - \theta_0}{\theta_0} \cdot \frac{1}{L_A} + \frac{1}{L_B} \end{cases} \quad (1)$$

Входные проводимости исходной и преобразованной структур хорошо совпадают только в узкой полосе частот ( $w \leq 5\%$ ).

Полученную цепь можно представить как параллельное соединение двух лестничных цепей А и В из короткозамкнутых линий передачи. Эле-

менты цепи А на центральной частоте имеют электрическую длину  $\theta_0$ , а элементы цепи В –  $\pi - \theta_0$ .

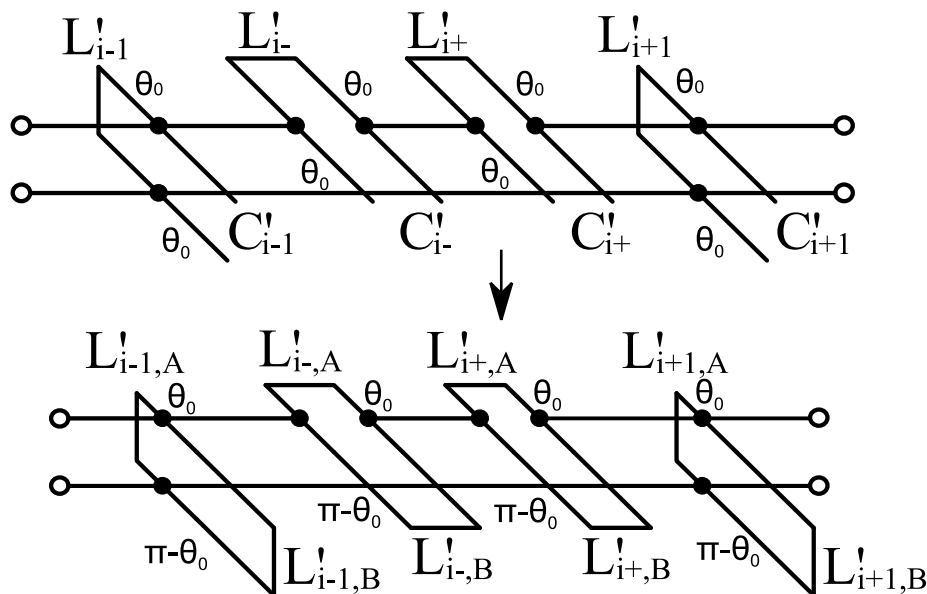


Рис. 2. Узкополосное преобразование П-секции эллиптического ПДФ

Подсхемы А и В реализуются закороченными на землю связанными линиями, которые соединяются параллельно в точке скачка волновой проводимости. Многопроводные линии передачи удобно характеризовать матрицами нормированных волновых проводимостей или нормированных погонных ёмкостей. Элементы матриц определяются по расчётным формулам [3, 6].

Обычно для подключения нагрузок по входу и выходу фильтра, с целью получения приемлемой с точки зрения физической реализуемости структуры, в под схему А вносят единичные элементы. Они реализуются встречно-стержневой связанной линией электрической длины  $\theta_0$ , закороченной на землю в точке скачка проводимостей внутренних резонаторов и подключенной к нагрузке с разомкнутой стороны. Таким образом, с точки зрения теории многопроводных линий, в матрицу под схемы А добавляются два узла. Например, для фильтра третьего порядка матрица нормированных проводимостей под схемы А приобретает вид:

$$[Y_n] = \begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 1+Y_{11} & -Y_{12} & 0 & 0 \\ 0 & -Y_{21} & Y_{22} & -Y_{23} & 0 \\ 0 & 0 & -Y_{32} & Y_{33}+1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 1 \end{bmatrix}. \quad (2)$$

В фильтрах с двумя портами количество узлов под схемы В сохраняется неизменным. Такая структура позволяет включать фильтр в СВЧ-тракт единственным способом – когда вход и выход расположены с одной сто-

роны. Однако благодаря тому, что в предлагаемом фильтре линии второй подсхемы также замкнуты на землю, открывается возможность внести в подсхему В два дополнительных единичных элемента электрической длины  $\pi - \theta_0$ . Тогда матрица подсхемы В также приобретает вид (2).

Полная схема предлагаемого фильтра с четырьмя портами изображена на (рис. 3).

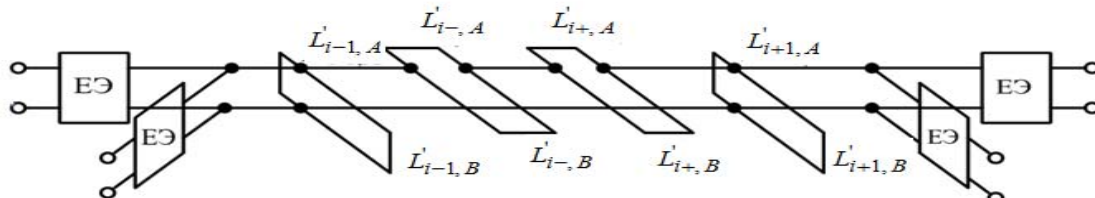


Рис. 3. Схема предлагаемого эллиптического фильтра с четырьмя портами

В исходных матрицах нормированных проводимостей подсхем А и В суммы нечётных столбцов равны нулю. Это – следствие отсутствия проводимостей на землю у единичных элементов, реализуемых встречно-стержневой связанной линией, и у центрального узла между элементами  $L'_{i-,A}$ ,  $L'_{i-,B}$  и  $L'_{i+,A}$ ,  $L'_{i+,B}$  (рис. 3). Добавить ненулевые проводимости на землю для указанных узлов можно с помощью преобразований матриц проводимостей, не меняющих входные и выходные характеристики всей структуры.

Для обеих матриц преобразование имеет вид:

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1/\sqrt{a} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & k/\sqrt{a} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1/\sqrt{a} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot [Y_n] \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1/\sqrt{a} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & k/\sqrt{a} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1/\sqrt{a} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

где  $k$  – коэффициент преобразования,  $k > 1$ ;  $a$  – масштабный частотный коэффициент.

В результате преобразований матриц все узлы могут быть реализованы связанными линиями передачи с ёмкостями на землю. Кроме того, частично устранена зависимость внутренних элементов фильтра от масштабного частотного коэффициента  $a$ . Данная зависимость в узкополосных фильтрах может привести к физически нереализуемой структуре.

Далее необходимо денормировать матрицы для системы 50 Ом, умножив каждый элемент матрицы на  $Y_0 = 1/50$  (См).

Геометрические размеры элементов матриц, реализованных прямоугольными связанными линиями в однородной диэлектрической среде, определяются по графикам Гетзингера [7] или с помощью электромагнитного



моделирования [4]. Для удобства применения графиков Гетзингера матрицы проводимостей следует перевести в матрицы нормированных погонных ёмкостей:

$$[C/\varepsilon] = \eta_0 \cdot [Y],$$

где:  $[C/\varepsilon]$  – матрица нормированных погонных ёмкостей;  $\varepsilon$  – полная диэлектрическая проницаемость среды;  $\eta_0$  – импеданс свободного пространства,  $\eta_0 = 120 \cdot \pi$ ;  $[Y]$  – матрица денормированных проводимостей.

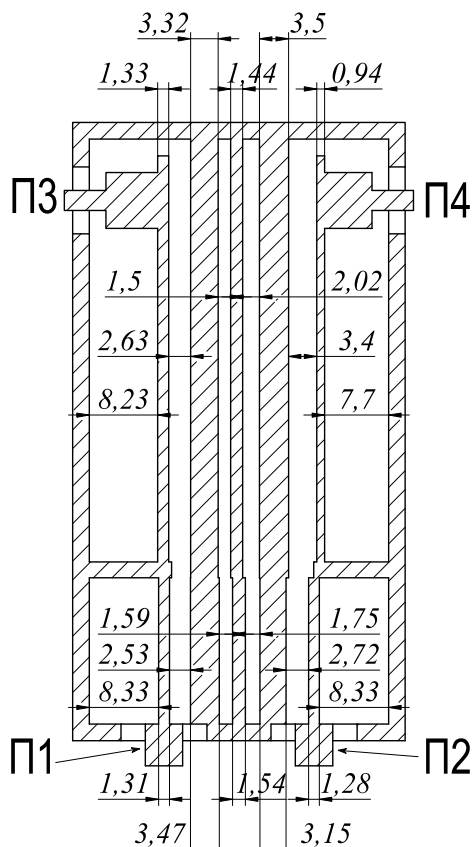


Рис. 4. Топология четырёхпортового эллиптического фильтра

На рис. 4 представлена топология четырёхпортового эллиптического ступенчатого фильтра СВЧ третьего порядка с центральной частотой 2154 МГц, полосой пропускания 20 МГц (относительная ширина полосы пропускания  $w = 0,93 \%$ ),  $\theta_0 = \pi/4$ .

Могут быть использованы следующие пары портов: П1-П2, П3-П4, П1-П4, П2-П3. При этом если какой-либо из портов П1, П2 не используется, то он должен быть короткозамкнутым, а если не используется какой-либо из портов П3, П4, то он должен работать в режиме холостого хода.

Была доказана возможность четырех вариантов двухпортовой реализации: П1-П2, П3-П4, П1-П4, П2-П3.

#### Список используемых источников

1. Кубалова А. Р. К расчету и оптимизации микрополосковых фильтров СВЧ // 58-я Научно-техническая конференция профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов: материалы конференции, СПбГУТ. СПб., 2006. С. 94.
2. Кубалова А. Р., Кубалов Р. И. Синтез полосковых стержневых эллиптических фильтров и на их основе мультиплексоров дециметрового и сантиметрового диапазонов // 60 Научно-техническая конференция профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов: материалы конференции, СПбГУТ. СПб., 2008. С. 96–97.
3. Ланнэ А. А. Оптимальный синтез линейных электронных схем. М.: Связь, 1978, 336 с.
4. Rhodes J. D., Aleyab S. A. A Design for Bandpass Channel Multiplexers Connected at a Common Junction. IEEE Trans. Microwave Theory Techniques, 1980, V. MTT-28, № 3. pp. 246–253.
5. Зааль Р. Справочник по расчету фильтров. М.: Радио и связь, 1983, 752 с.

6. Кубалова А. Р., Томашевич С. В. Анализ и синтез микроволновых эллиптических фильтров. СПб.: СПбГУТ, 2013. 368 с.

7. Getsinger W. J. Coupled Rectangular Bars Between Parallel Plates // Microwave Theory and Techniques, IEEE Transactions on. 1962. Т. 10. С. 65–72.

УДК 621.396.67

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ УЗКОПОЛОСНОГО СВЧ ФИЛЬТРА С ЭЛЛИПТИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКОЙ ЗАТУХАНИЯ

Н. О. Дёшина, А. Р. Кубалова, Т. А. Рыжикова

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

*Эллиптические фильтры СВЧ обладают большей частотной избирательностью и меньшим числом звеньев по сравнению с обычными полиномиальными фильтрами при одинаковых требованиях к характеристике затухания. Особенно значительным является выигрыш в число звеньев, если требуется узкая переходная область. Уменьшение числа звеньев у эллиптического фильтра снижает потери в полосе пропускания, уменьшает вес и габариты. Перспективной структурой для узкополосного фильтра является система, которая состоит из параллельно включенных закороченных решеток из связанных полосковых линий и не требует обязательного применения диэлектрика, вместе с тем, обладает высокой устойчивостью к механическим воздействиям. Эта структура с эллиптической характеристикой затухания допускает при реализации различные модификации и заслуживает тщательного исследования.*

*фильтры СВЧ, эллиптические фильтры, характеристики затухания, полоса пропускания.*

В последние годы в отечественной и зарубежной литературе все чаще стали появляться сообщения о разработке различных полосковых структур, имеющих характеристики полосно-пропускающих эллиптических фильтров. Этот интерес объясняется тем, что такие фильтры имеют меньшее число звеньев по сравнению с обычными полиномиальными фильтрами при одинаковых требованиях к характеристике затухания. Особенно значительным получается выигрыш в числе звеньев, если требуется узкая переходная область.

Уменьшение числа звеньев у эллиптического фильтра (т. е. у фильтра с произвольным расположением полюсов затухания) снижает потери в полосе пропускания, уменьшает вес и габариты. Однако, как правило, структура фильтра оказывается более сложной и вызывает значительные затруднения при реализации её на СВЧ.

Именно поэтому в направлении упрощения структур эллиптических фильтров СВЧ сейчас настойчиво работают многие лаборатории мира. Весьма перспективной структурой для узкополосных фильтров является система, предложенная в 1969 г. Д. Роудсом (*D. Rhodes*) [1, 2, 3]. Она состоит из параллельно включенных закороченных решеток из связанных полосковых линий и не требует обязательного применения диэлектрика, вместе с тем, обладая высокой устойчивостью к механическим воздействиям.

Эта структура с эллиптической характеристикой затухания допускает при реализации различные модификации и безусловно заслуживает тщательного исследования.

В тех случаях, когда требования к затуханию полосового фильтра в нижней и верхней полосах задерживания имеют геометрическую симметрию, следует использовать для расчета элементов ППФ прототип НЧ.

Эта методика расчета наиболее проста, так как элементы лестничных прототипов протабулированы и проектирование ППФ сводится к простейшим вычислениям, связанным с использованием частотного преобразования.

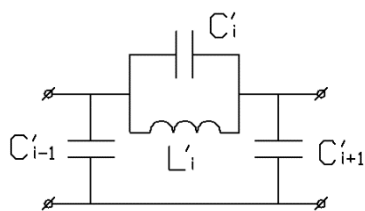
В настоящее время широко используется двойное частотное преобразование Ричардса [4], которое позволяет от прототипа НЧ сразу перейти к структуре из отрезков линий передач одинаковой длины, имеющую характеристику ППФ [5]. В самом общем случае это преобразование имеет вид:

$$\Omega \rightarrow a \left( \frac{\operatorname{tg} \theta}{\operatorname{tg} \theta_0} - \frac{\operatorname{tg} \theta_0}{\operatorname{tg} \theta} \right),$$

где  $\Omega$  – нормированная частота прототипа НЧ;  $a$  – постоянная преобразования;  $\operatorname{tg} \theta$  – новая частотная переменная;  $\theta_0$  – электрическая длина отрезков линии передач СВЧ структуры.

Применение двойного частотного преобразования к звену эллиптического прототипа приводит к схеме с восемью разомкнутыми и закороченными отрезками линий (рис. 1).

а)



б)

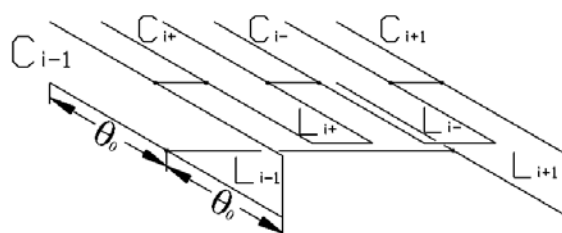


Рис. 1. а) схема эллиптического фильтра-прототипа НЧ; б) схема эллиптического фильтра с распределенными параметрами на резонаторах одинаковой длины

На рис. 1 приведена схема эллиптического прототипа НЧ, где  $C'_i$  и  $L'_i$  – значения нормированных элементов. На схеме рис. 1б показана структура СВЧ, в которой  $L_i$  и  $C_i$  обозначают нормированные волновые сопротивления и проводимости отрезков линий.

При проектировании фильтров СВЧ приходится решать сложную задачу, связанную с физической реализацией. Несмотря на многочисленные структуры эллиптических фильтров, этот вопрос нельзя считать окончательно решенным, поэтому каждая новая структура СВЧ фильтра с интересом встречается проектировщиками.

Для реализации узкополосных ППФ можно использовать очень интересную структуру из двух параллельно включенных заземленных решеток из связанных линий (рис. 2). Расчетные соотношения для такой структуры выводятся из эквивалентного преобразования двух параллельно включенных шлейфов.

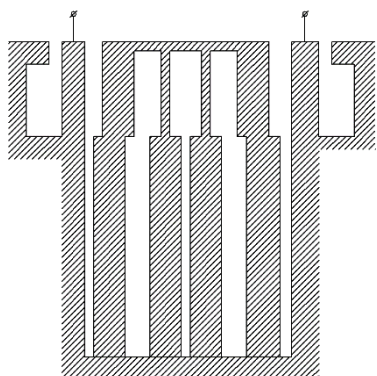


Рис. 2. Топология фильтра из двух параллельно включенных заземленных решеток из связанных линий

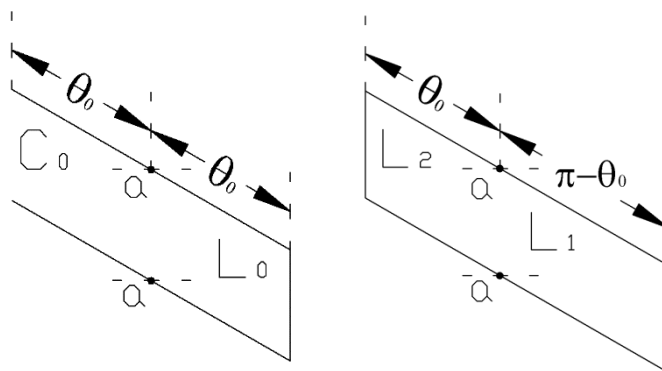


Рис. 3. Схемы с параллельным соединением закороченного и разомкнутого шлейфов одинаковой длины

Рассмотрим параллельное соединение закороченного и разомкнутого шлейфов одинаковой длины (рис. 3). Полная входная проводимость зажимов  $aa$  равна:

$$Y_{aa}^I = Y_{XX} + Y_{KЗ} = jC_0 \operatorname{tg} \theta - j \frac{1}{L_0 \operatorname{tg} \theta}.$$

Теперь запишем полную входную проводимость двух параллельно включенных закороченных шлейфов различной длины (рис. 3).

$$Y_{aa}^{II} = Y_{\pi-\theta_0} + Y_{\theta_0} = -j \frac{1}{L_1 \operatorname{tg} \left[ \left( \frac{\pi - \theta_0}{\theta_0} \right) \theta \right]} + j \frac{1}{L_2 \operatorname{tg} \theta}.$$

Принципиально эти две структуры не эквивалентны, т. к.  $Y_{aa}^I(\theta) \neq Y_{aa}^{II}(\theta)$ . Поэтому можно говорить об эквивалентности только для некоторого узкого диапазона частот, при соответствующем выборе  $\frac{1}{L_1}$  и  $\frac{1}{L_2}$ . При  $\theta = \theta_0$  приравняем входные проводимости  $Y_{aa}^I$  и  $Y_{aa}^{II}$  и их первые производные:

$$\begin{cases} Y_{aa}^I(\theta_0) = Y_{aa}^{II}(\theta_0), \\ \frac{dY_{aa}^I}{d\theta}(\theta_0) = \frac{dY_{aa}^{II}}{d\theta}(\theta_0). \end{cases} \quad (1)$$

Из этой системы уравнений определим волновые проводимости законченных шлейфов  $\frac{1}{L_1}$  и  $\frac{1}{L_2}$ .

Первые производные входных проводимостей равны:

$$\frac{dY_{aa}^I}{d\theta} = jC_0 \frac{1}{\cos^2 \theta} + j \frac{1}{L_0 \sin^2 \theta}, \quad \frac{dY_{aa}^{II}}{d\theta} = j \frac{\frac{\pi - \theta_0}{\theta_0}}{L_1 \sin^2 \left( \frac{\pi - \theta_0}{\theta_0} \right) \theta} + j \frac{1}{L_0 \sin^2 \theta}.$$

Раскрывая уравнения (1), получаем:

$$C_0 \operatorname{tg} \theta_0 - \frac{1}{L_0 \operatorname{tg} \theta_0} = -\frac{1}{L_1 \operatorname{tg}(\pi - \theta_0)} - \frac{1}{L_2 \operatorname{tg} \theta_0},$$

$$C_0 \frac{1}{\cos^2 \theta_0} + \frac{1}{L_0 \sin^2 \theta_0} = \frac{\frac{\pi - \theta_0}{\theta_0}}{L_1 \sin^2(\pi - \theta_0)} + \frac{1}{L_2 \sin^2 \theta_0}$$

при условии  $\theta = \theta_0$ .

Так как

$$\operatorname{tg}(\pi - \theta_0) = -\operatorname{tg} \theta_0 \text{ и } \sin^2(\pi - \theta_0) = \sin^2 \theta_0, \text{ то}$$

$$\begin{cases} C_0 \operatorname{tg}^2 \theta_0 - \frac{1}{L_0} = \frac{1}{L_1} - \frac{1}{L_2}, \\ C_0 \operatorname{tg}^2 \theta_0 + \frac{1}{L_0} = \frac{\pi - \theta_0}{\theta_0} \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2}. \end{cases} \quad (2)$$

Решая эту систему уравнений, получаем

$$\frac{1}{L_1} = \frac{2\theta_0}{\pi} \operatorname{tg}^2 \theta_0 \cdot C_0. \quad (3)$$

Домножая первое уравнение в (2) на  $-\frac{\pi-\theta_0}{\theta_0}$  и суммируя, приходим к выражению:

$$\left( C_0 \operatorname{tg}^2 \theta_0 - \frac{1}{L_0} \right) \left( \frac{\theta_0 - \pi}{\theta_0} \right) + C_0 \operatorname{tg}^2 \theta_0 + \frac{1}{L_0} = \frac{\pi - \theta_0}{\theta_0} \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_2},$$

$$C_0 \operatorname{tg}^2 \theta_0 - \frac{\pi}{\theta_0} C_0 \operatorname{tg}^2 \theta_0 - \frac{1}{L_0} + \frac{\pi}{\theta_0} \frac{1}{L_0} + C_0 \operatorname{tg}^2 \theta_0 + \frac{1}{L_0} = \frac{\pi}{\theta_0} \frac{1}{L_2}.$$

Или окончательно:

$$\frac{1}{L_2} = \frac{1}{L_0} + \left( \frac{2\theta_0}{\pi} - 1 \right) C_0 \operatorname{tg}^2 \theta_0. \quad (4)$$

Формулы (3) и (4) позволяют перейти от параллельного соединения закороченного  $\frac{1}{L_0}$  и разомкнутого  $C_0$  шлейфов одинаковой длины к параллельному соединению двух закороченных шлейфов с волновыми проводимостями  $\frac{1}{L_1}$  (электрическая длина шлейфа  $\pi - \theta_0$ ) и  $\frac{1}{L_2}$  (длина  $-\theta_0$ ).

Входные проводимости этих структур достаточно хорошо совпадают только в узкой полосе частот (до  $\pm 5\%$ ), поэтому формулами (3) и (4) необходимо пользоваться достаточно осторожно.

Таким образом, звено эллиптического прототипа можно реализовать только закороченными отрезками линий (рис. 4).

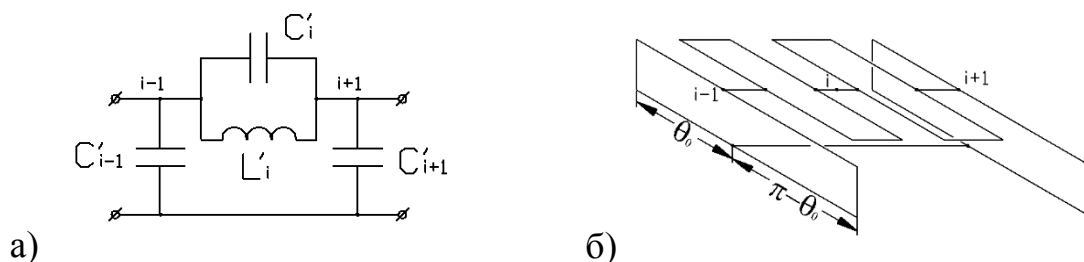


Рис. 4. а) схема эллиптического фильтра-прототипа НЧ;  
б) схема эллиптического фильтра с распределенными параметрами на резонаторах разной длины

#### Список используемых источников

1. Rhodes J. D. Realization of microwave Brune sections. IEE Elec. Letters, 1, 1965.

2. Rhodes J. D. Stepped Digital Elliptic Filter. IEEE Trans, vol. MTT-17; April 1969, № 4.
3. Rhodes D. The half-wave stepped digital elliptic filter, IEEE Trans. Vol. MTT-17, Dezember 1969, № 12.
4. Зааль Р. Справочник по расчету фильтров: пер. с нем. М.: Радио и связь, 1983, 752 с.
5. Маттей Дж. Фильтры СВЧ, согласующие цепи и цепи связи. М.: Связь, 1971.

УДК 623.624

## ЭКРАНИРУЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ СВЯЗИ

**К. В. Дукельский, Д. И. Кирик, Т. Ю. Ковалева, Ю. И. Пустарнакова**

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

*В работе представлены результаты разработки новых экранирующих материалов для решения проблемы уменьшения помех и повышения электромагнитной совместимости устройств ВЧ и СВЧ-радиоэлектроники, за счет снижения уровня электромагнитных излучений, возникающих при работе информационных систем связи.*

*электромагнитные излучения, коэффициент отражения, экранирование, электромагнитная совместимость.*

Современное развитие радиоэлектроники, увеличение мощности устройств СВЧ приводит к возникновению электромагнитного излучения на частотах высших типов гармоник, что создает значительные помехи радиоэлектронной аппаратуре, и спутниковой связи при их функционировании.

Телекоммуникационная информация, циркулирующая в технических средствах обработки и хранения, а также в каналах связи при ее передаче, может служить целям несанкционированного ее сбора по образующимся каналам утечки. Носителем информации при ее обработке техническими средствами и передаче по проводным каналам связи является электрический ток, а при передаче по радио и оптическому каналам – электромагнитные волны.

Все виды радиоэлектронных систем, в том числе, информационных систем (ИС) связи, излучают электромагнитную энергию, или находятся под воздействием внешних источников помех.

Электрические каналы утечки информации в технических системах передачи информации (ТСПИ) образуются за счет: наводок электромаг-

нитных излучений (ЭМИ) элементов технических систем на соединительные линии и посторонние проводники, выходящие за пределы контролируемой зоны; просачивания информационных сигналов в цепи электропитания и заземления; внешних наводок ЭМИ (навязывание) на элементы систем.

Значительно возросшее количество разнообразных источников ЭМИ (информационные системы, системы связи, навигации и устройства широкого применения – компьютеры, мобильные телефоны) с широким используемым частотным диапазоном излучения, являются существенным фактором, влияющим на функционирование технических объектов.

В комплексе организационных, организационно-технических и технических мероприятий, исключающих или ослабляющих бесконтрольный выход конфиденциальной информации за пределы контролируемой зоны, важную роль приобретает пассивный метод защиты экранирующими материалами, в том числе и для энергетического скрывания или навязывания ЭМИ поверхностям элементов систем [1].

В связи с этим, разработка новых экранирующих материалов поглощающего типа (РПМ) для решения проблемы уменьшения помех и электромагнитной совместимости устройств информационных систем, в том числе, многочисленных бортовых антенных устройств, является весьма актуальной.

Разработка систем защиты, экранирования и поглощения широкополосного ЭМИ является довольно сложной задачей, как с теоретической, так и с практической точки зрения. Жесткие технические требования к таким системам обуславливают необходимость поиска комплексных решений задачи защиты от ЭМИ, а также защиты информации, содержащейся в ЭМИ [1].

Такие решения включают в себя использование не только специальных радиопоглощающих экранов и покрытий, но и элементов конструкций (строительных или технических), учет электродинамических свойств окружающей среды и т. д. Правильный учет распространения и распределения радиоволн дает возможность использовать защитные свойства таких элементов конструкций [1, 2].

Необходимость электромагнитного экранирования ТСПИ систем связи рассматривается совместно с конструктивными рекомендациями по оптимальной компоновке, так как электромагнитный поглощающий экран или радиопоглощающее покрытие одновременно с выполнением основной функции перераспределяет электромагнитное излучение.

Разработка экранирующих РПМ проводилась в двух направлениях: для снижения уровня излучений отдельными элементами ИС и для экранирования помещений.

Электромагнитная волна при взаимодействии с РПМ или экраном с покрытием претерпевает значительное поглощение и частично проникает



в экранируемую область. Общая эффективность экранирования (величина потерь энергии электромагнитной волны) радиопоглощающим материалом экрана определяется суммой потерь за счет поглощения (затухания) энергии в толще экранирующего материала, отражения энергии от границ раздела внешняя среда – экран и многократных внутренних отражений в стенках поглощающего материала или покрытия экрана. Потери на отражение на границе раздела двух сред связаны с различными значениями волновых сопротивлений этих сред.

Применение качественных экранирующих РПМ и покрытий вносит вклад в решение следующих комплексных задач:

- защита информации в помещениях и технических средствах, ИС;
- электромагнитная совместимость оборудования и элементов структуры технических систем, при их совместном использовании;
- защита персонала от повышенного уровня электромагнитных полей от устройств различного частотного диапазона; обеспечение безопасной экологической обстановки.

Радиопоглощающий материал находится под воздействием целого ряда внешних факторов, часть из которых могут быть измерены (контролируемые воздействия), а часть – не поддаются измерению, или их влияние не существенно (не контролируемые воздействия).

Как объект моделирования, РПМ – это сложные системы взаимосвязанных элементов (компонентов), в которых протекают процессы структурообразования и деструкции.

В результате моделирования устанавливается взаимосвязь электромагнитных параметров материала с выходным параметром РПМ – коэффициентом отражения. Поставленная задача решается в приближении сплошных сред [2].

Для упрощения расчетов приняты следующие допущения:

- волна распространяется перпендикулярно поверхности покрытия;
- полубесконечная среда – идеальный металл (для исключения влияния материала защищаемого объекта на результаты исследования).

В разработанной расчетной модели учтены частотные дисперсионные зависимости электромагнитных параметров материалов, но не учтены температурные зависимости, обусловленные нагревом материалов за счет диссипации энергии ЭМВ [3].

На рисунке (см. ниже) представлен результат расчета требуемой дисперсионной зависимости мнимой части магнитной проницаемости от частоты электромагнитного поля, при заданном коэффициенте отражения  $|\Gamma| \leq 10\%$  в исследуемом частотном диапазоне.

Получение требуемых дисперсионных зависимостей магнитной и диэлектрической проницаемостей достигается синтезом состава РПМ, на основе разработанной полимерной матрицы и определенных типов магнит-

ных наполнителей. Матрица, используемая в РПМ, представляет собой термодинамическую устойчивую двухфазную систему, состоящую из полярной фазы, представляющей микронные капли воды, распределенные в неполярной латексной среде. Этот тип матрицы позволяет введение большого количества наполнителя.

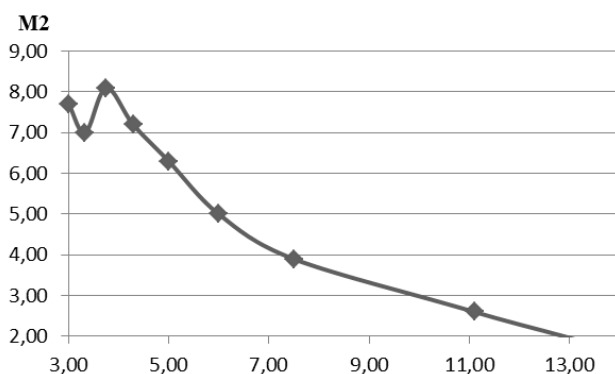


Рисунок. Зависимость мнимой составляющей  $M_2(\mu)$  от частоты

Технологической особенностью материала на основе разработанного связующего является воспроизводимость радиофизических характеристик при широком допуске на разброс конструктивных параметров.

Разработанные модели экранирующих РПМ для снижения уровня излучений от объектов и технических сред, а также для защиты

от утечки информации по техническим каналам, исследовались в лабораторных условиях на панорамных измерителях КСВ и в специальных условиях.

Результаты измерений электромагнитных излучений технических средств с применением экранированного мобильного объема показали, что в случае расположения измерительной антенны вплотную к стойке с укрываемым ТС (генератором), наблюдается значительное ослабление сигнала во всем диапазоне частот, на расстоянии 1 метра от стойки наблюдается значительное ослабление сигнала на частотах свыше 600 МГц.

При расположении измерительной антенны на расстоянии трех метров от стойки наблюдается несколько меньшее ослабление сигнала во всем диапазоне частот. Различные мощности генератора практически не повлияли на результаты измерений.

После экранирования радиопоглощающим покрытием соединительных линий и посторонних проводников, выходящих за пределы контролируемой зоны, наблюдается ослабления уровня сигнала на частотах свыше 500 МГц и менее значительное ослабление на более низких частотах. По результатам расчета после экранирования РПМ этих элементов наблюдается уменьшение размера контролируемой зоны в 2–3 раза.

Для покрытия внутренних объемов помещений представлена разработка РПМ, обеспечивающего снижение уровня электромагнитных излучений от функционирующих ТСПИ. Данный тип материала не предназначен для безэховых камер, а может быть применен для обычных помещений, где расположены технические системы.

Некоторые свойства разработанного для помещений экранирующего РПМ приведены в таблице.

ТАБЛИЦА. Свойства экранирующего РПМ

Исследуемые параметры	Результаты исследований
Г отр. в диапазоне 0,3–10 см, не более	–27 ... –10 дБ
Частотный диапазон работы	0,8–10; 0,3–5 см
Средняя величина коэфф. отр. по диапазону	$ \Gamma  \%_{\text{ср}} \leq 10$
Величина Г отр., на длине, $\lambda = 3$ и $\lambda = 7$ см	$ \Gamma  \% \leq 4$ (25–27 дБ)
Срок непрерывной эксплуатации, лет, не менее	3
Водопоглощение за 10 суток, %, не более	$\leq 2$
Масса 1 кв. м материала, в кг, не более	2,0

Материал широкодиапазонный, с коэффициентом отражения со средней величиной по диапазону, не превышающей  $|\Gamma|_{\text{ср}} \leq 10$  %, имеет декоративную фактуру поверхности, экологически безопасен и предназначен для покрытия стен и потолков без дополнительного окрашивания. Приоритетными характеристиками разработанного РПП для наземных объектов и помещений с оборудованием являются: огнестойкость, легкость и широкая полоса частот работы, при минимально возможном коэффициенте отражения.

Для отдельных элементов ТСПИ и элементов и блоков ЭВС разработано несколько типов радиопоглощающих материалов экранов. При разработке экранирующих РПМ для отдельных элементов и блоков учитывался их частотный диапазон функционирования, уровень излучаемых электромагнитных полей, конструктивное исполнение.

#### Список используемых источников

1. Ковалева Т. Ю., Доценко С. М., Ермаков А. В. Исследование влияния конструкторско-технологических параметров на радиофизические и физико-механические свойства покрытий // Передача, прием, обработка и отображение информации в быстротекающих процессах. Сборник статей XXV Всероссийской научно-технической конференции школы семинара РАРАН. 2014. С. 292–297.

2. Ковалева Т. Ю., Ермаков А. В. Технологические особенности разработки радиопоглощающих покрытий для подвижных объектов военной техники // Актуальные проблемы защиты и безопасности: материалы всерос. научн.-практ. конф. Т. 3. Бронетанковая техника и вооружение. СПб.: НПО Специальных материалов, 2013. С. 279–282.

3. Ковалева Т. Ю., Ермаков А. В., Иванов А. В., Ковалева А. Г., Старобинец И. М. Результаты разработки селективных защитных материалов для подвижных объектов военной техники // Актуальные проблемы защиты и безопасности: материалы всерос. научн.-практ. конф. Т. 3. Санкт-Петербург, 5–7 апреля 2014 г. М.: ИД ФГБУ РАРАН, 2014. С. 379–385.

УДК621.372.542

## ДОСТИЖИМОЕ ОТНОШЕНИЕ СИГНАЛ / ШУМ ПРИ ФИЛЬТРАЦИИ СЛАБОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО УЗКОПОЛОСНОГО СИГНАЛА ПРИ АНАЛОГО-ЦИФРОВОМ ПРЕОБРАЗОВАНИИ В ШИРОКОЙ ПОЛОСЕ ЧАСТОТ

**В. А. Жиров, С. Г. Зайцев, Ю. А. Молотков, А. В. Овчаренко**

Санкт-Петербургский филиал «Ленинградское отделение научно-исследовательского института радио»

*Представлены результаты исследований достижимого отношения сигнал/шум для узкополосного сигнала с учетом его фильтрации при аналого-цифровом преобразовании широкополосного композитного сигнала. Снижение отношения сигнал/шум при широкополосной оцифровке определяет возможности приема слабых сигналов в смеси. Оно связано с действием шумов квантования, что особенно критично при малом количестве уровней квантования и неидеальности характеристик АЦП. Цель исследований – оценить достижимое отношение сигнал/шум при фильтрации слабых сигналов после оцифровки с целью их дальнейшей демодуляции. В ходе теоретического анализа и моделирования показано, что основным фактором, ограничивающим отношение сигнал/шум, является дрейф нуля АЦП. Показано, что восстановление возможно только, если значение дрейфа нуля по модулю меньше, чем СКО аддитивного шума в смеси композитного сигнала.*

*аналого-цифровое преобразование, композитный широкополосный сигнал, фильтрация сигналов.*

Примером аналого-цифрового преобразования широкополосного композитного сигнала является оцифровка сигналов промежуточной частоты приемных станций спутниковой связи в полосе 950...2150 МГц с помощью широкополосного АЦП с частотой дискретизации 5000 МГц. В качестве прототипа использовался АЦП EV10AQ190 [1]. Предполагается, что в полосе оцифровки могут располагаться несколько сигналов с разной мощностью и полосой. Полный композитный сигнал имеет размах по амплитуде на всю шкалу отображения АЦП с учетом пик-фактора. При моделировании в качестве контрольного используется узкополосный сигнал с отношением сигнал/шум (SNR) в согласованной полосе 6,8 дБ, чему соответствует вероятность ошибки на бит  $10E-3$  для некодированного сигнала BPSK.

Рассматривается модель АЦП как совокупность усилителя, дискретизатора и квантователя. Модель входного сигнала представляет смесь полезного сигнала с аддитивным белым шумом, СКО которого составляет

$\sigma$  мВ. Входное отношение сигнал/шум равно SNR дБ. Тогда СКО шума на выходе усилителя АЦП представляется как  $q = K_U \sigma = \frac{\sigma}{\Delta}$  мВ, где  $K_U$  – коэффициент усиления усилителя,  $\Delta$  – шаг разрядной сетки АЦП, а мощность полезного сигнала равна  $P_{SAЦП} = q^2 10^{0,1 \text{ SNR}}$  мкВт, соответственно.

Рассмотрим влияние оцифровки на дисперсию белого шума, в отсутствие сигнала. Во-первых, оцифровка шума трансформирует распределение его вероятностей из непрерывного в дискретное. Дискретное распределение содержит конечное число членов, равное числу кодов АЦП. В рассматриваемом случае, когда отображение занимает несколько кодов, а именно когда  $q < \frac{1}{4}$ , в распределении остается только 2 элемента. То есть, при уменьшении входного шума, начиная с некоторого уровня, выборочное распределение на выходе АЦП вырождается в двухэлементное со значениями  $\pm 0,5$  с равной вероятностью реализации. Дисперсия оцифрованного шума стабилизируется на уровне 0,25 и не изменяется при дальнейшем уменьшении шума на входе. Уровень входного шума, при котором наступает вырождение, определяется разрядностью АЦП  $n$  [2]. Увеличение разрядности АЦП на 1 ведет к снижению уровня вырождения на 6 дБ.

Перейдем к рассмотрению шума, оцифрованного вместе с полезным сигналом. Дисперсию отсчетов на выходе АЦП  $D_{AЦП}$  при известном  $q$  и фиксированной ошибке квантования  $\vartheta$  можно вычислить как разность второго начального момента  $M_2(q, \vartheta)$  и квадрата математического ожидания  $M_1(q, \vartheta)$  выборочного распределения:

$$D_{AЦП}(q, \vartheta) = M_2(q, \vartheta) - M_1(q, \vartheta)^2. \quad (1)$$

Подставляя в (1) выражения для моментов  $M_1(q, \vartheta) = \sum_{i=m_-}^{m_+} r_i \Phi(i, q, \vartheta)$ ,  $M_2(q, \vartheta) = \sum_{i=m_-}^{m_+} r_i^2 \Phi(i, q, \vartheta)$ , получаем:

$$D_{AЦП}(q, \vartheta) = \sum_{i=m_-}^{m_+} r_i^2 \Phi(i, q, \vartheta) - \left( \sum_{i=m_-}^{m_+} r_i \Phi(i, q, \vartheta) \right)^2, \quad (2)$$

где  $m_+ = I_0 + E(\vartheta + 4q)$ ,  $m_- = I_0 - 1 + E(\vartheta - 4q)$ ,

а  $\Phi(i, q, \vartheta) = F_n \left( \frac{r_i + 0,5 - \vartheta}{q} \right) - F_n \left( \frac{r_i - 0,5 - \vartheta}{q} \right) = F_n \left( \frac{i - I_0 + 1 - \vartheta}{q} \right) - F_n \left( \frac{i - I_0 - \vartheta}{q} \right)$ .

Если полезный сигнал непрерывен во времени, то возникающие ошибки квантования можно представить как непрерывную СВ с некоторой плотностью распределения вероятностей  $f_\vartheta$ , определенной на интервале  $[\delta_0 - 0,5, \delta_0 + 0,5]$ , где  $\delta_0$  – дрейф нуля АЦП. Таким образом, моменты выборочного распределения можно вычислить усреднением по распределению вероятностей ошибок квантования. Поэтому дисперсия процесса представляется выражением:

$$D_{\text{АЦП}}(\varrho, \delta_0) = \int_{\delta_0-0,5}^{\delta_0+0,5} M_2(\varrho, \vartheta) f_{\vartheta}(\vartheta) d\vartheta - \left( \int_{\delta_0-0,5}^{\delta_0+0,5} M_1(\varrho, \vartheta) f_{\vartheta}(\vartheta) d\vartheta \right)^2, \quad (3)$$

а мощность дискретного шума на выходе АЦП определяется как

$$N_{\text{АЦП}}(\varrho, \delta_0) = \int_{\delta_0-0,5}^{\delta_0+0,5} M_2(\varrho, \vartheta) f_{\vartheta}(\vartheta) d\vartheta. \quad (4)$$

Принимая предположение, что  $f_{\vartheta} = 1$ , дисперсия процесса на выходе АЦП (3):

$$D_{\text{АЦП}}(\varrho, \delta_0) = \int_{\delta_0-0,5}^{\delta_0+0,5} M_2(\varrho, \vartheta) d\vartheta - \delta_0^2, \quad (5)$$

где учтено соотношение  $\int_{\delta_0-0,5}^{\delta_0+0,5} M_1(\varrho, \vartheta) d\vartheta = \delta_0$ , а мощность шума (4) есть:

$$N_{\text{АЦП}}(\varrho, \delta_0) = \int_{\delta_0-0,5}^{\delta_0+0,5} M_2(\varrho, \vartheta) d\vartheta. \quad (6)$$

Тогда отношение сигнал/шум (дБ) на выходе АЦП равно:

$$\text{SNR}_{\text{АЦП}}(\varrho, \delta_0) = \text{SNR} - 10 \lg \left( \frac{\int_{\delta_0-0,5}^{\delta_0+0,5} M_2(\varrho, \vartheta) d\vartheta}{\varrho^2} \right), \quad (7)$$

а уровень подавления шума (дБ), необходимый для восстановления отношения сигнал/шум, составит:

$$A_N(\varrho, \delta_0) = 10 \lg \left( \frac{\int_{\delta_0-0,5}^{\delta_0+0,5} M_2(\varrho, \vartheta) d\vartheta}{\varrho^2} \right). \quad (8)$$

Выражение для необходимого количества отсчетов  $N$  на период усреднения, при котором можно обеспечить восстановление отношения сигнал/шум на выходе АЦП, представляется в виде:

$$\frac{D_{\text{АЦП}}(\varrho, \delta_0)}{N} + \delta_0^2 = \varrho^2. \quad (9)$$

Решая его, получаем:

$$N(\varrho, \delta_0) = \frac{\int_{\delta_0-0,5}^{\delta_0+0,5} M_2(\varrho, \vartheta) d\vartheta - \delta_0^2}{\varrho^2 - \delta_0^2}; \quad \delta_0 < \varrho. \quad (10)$$

Видно, что восстановление отношения сигнал/шум принципиально возможно только при выполнении условия  $\delta_0 < \varrho$ , что накладывает ограничение на допустимый дрейф нуля АЦП. В отсутствие дрейфа восстановление возможно при любых значениях СКО шума  $\varrho$ . При этом необходимое количество отсчетов на период усреднения составит:

$$N_0(\varrho) = 1 + E \left( \frac{\int_{-0,5}^{0,5} M_2(\varrho, \vartheta) d\vartheta}{\varrho^2} \right). \quad (11)$$

Если ограничить максимально возможный дрейф нуля как некоторую долю СКО шума  $\delta_0 \leq \beta q$ , где  $\beta \in (0,1)$ , то необходимое количество отсчетов для восстановления вычисляется по формуле:

$$N(q, \beta) = 1 + E \left( \frac{\int_{\beta q - 0,5}^{\beta q + 0,5} M_2(q, \vartheta) d\vartheta - \beta^2 q^2}{q^2(1 - \beta^2)} \right). \quad (12)$$

Очевидно, при наличии дрейфа нуля требуется больше отсчетов, чем при использовании идеального АЦП. И чем ближе  $\delta_0$  к допустимому пределу ( $\beta$  ближе к 1), тем больше требуется отсчетов. Следующее выражение позволяет вычислить ухудшение отношения сигнал/шум на выходе АЦП после усреднения  $N$  отсчетов при произвольном дрейфе нуля:

$$A_N(q, \delta_0, N) = 10 \lg \left( \frac{\frac{1}{N} \left( \int_{\delta_0 - 0,5}^{\delta_0 + 0,5} M_2(q, \vartheta) d\vartheta - \delta_0^2 \right) + \delta_0^2}{q^2} \right). \quad (13)$$

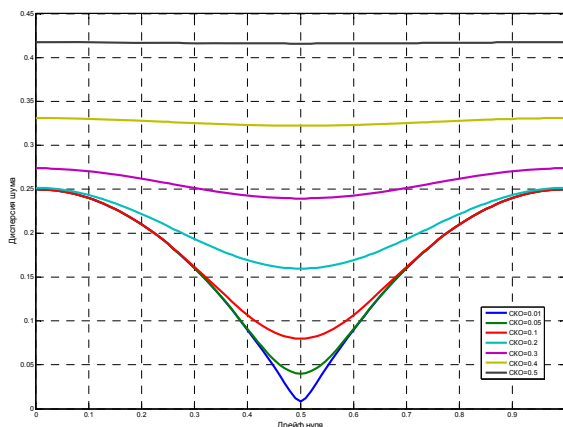


Рис. 1. Дисперсия случайного процесса на выходе АЦП в зависимости от дрейфа нуля при различных СКО теплового шума

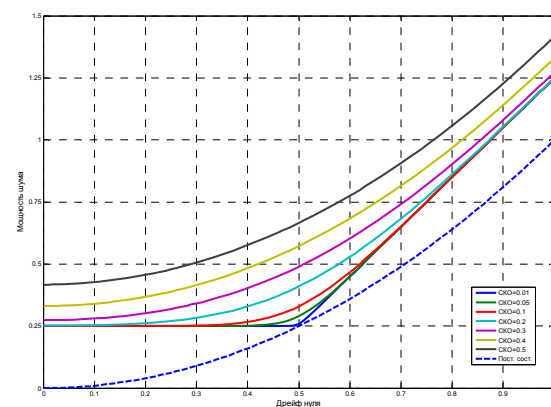


Рис. 2. Мощность случайного процесса на выходе АЦП в зависимости от дрейфа нуля при различных СКО теплового шума

На рис. 1, согласно выражения (5), приведены зависимости дисперсии процесса на выходе АЦП от дрейфа нуля  $\delta_0$  при малых значениях  $q$  (на графиках обозначается как СКО теплового шума на выходе усилителя). Видно, что при уменьшении  $q$  максимальное значение дисперсии приближается к 0,25 сверху, а минимальное приближается к 0. При увеличении  $q$  максимальное значение дисперсии возрастает и сокращается разница между максимумом и минимумом. На рис. 2, согласно выражения (6), представлено семейство графиков мощности случайного процесса на выходе АЦП и постоянной составляющей, обусловленной дрейфом нуля. Видно, что при  $q > 0,3$ , когда вариации дисперсии уменьшаются, рост мощности процесса происходит только за счет постоянной составляющей. При  $q < 0,1$ , когда заметно вырождение выборочного распределения, дрейф нуля почти до значений  $\delta_0 = 0,5$  практически не влияет на мощность случайного процесса. Она почти постоянна и равна 0,25 независимо

от значения  $\varrho$ . На рис. 3, по выражению (8), представлено ухудшение отношения сигнал/шум на выходе АЦП (дБ), в зависимости от дрейфа нуля при малых значениях  $\varrho$ . Видно, что при уменьшении  $\varrho$  необходимый уровень подавления шума возрастает. Он также растет при увеличении дрейфа нуля.

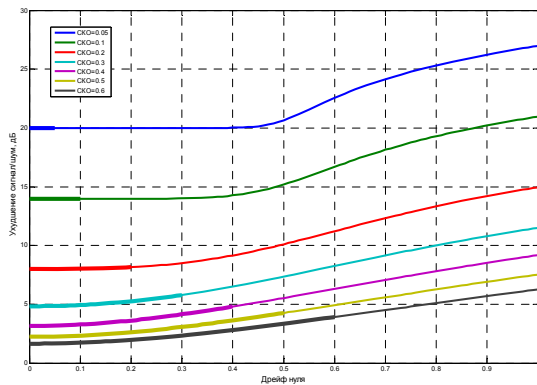


Рис. 3. Ухудшение отношения сигнал/шум на выходе АЦП в зависимости от дрейфа нуля при различных СКО теплового шума

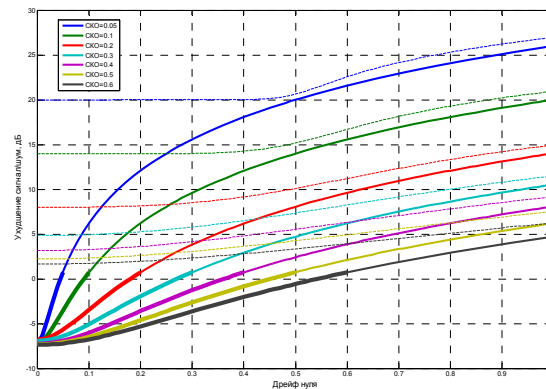


Рис. 4. Изменение отношения сигнал/шум на выходе АЦП после восстановления в зависимости от дрейфа нуля при различных СКО теплового шума

Проведены расчеты необходимого количества отсчетов для восстановления отношения сигнал/шум на выходе АЦП при различных значениях  $\varrho$ . Для идеального АЦП восстановление отношения сигнал/шум на выходе легко осуществить, усредняя относительно небольшое количество отсчетов. Так если максимальный дрейф нуля составляет  $\delta_0 = 0,9\varrho$ , то для восстановления требуется 1280 отсчетов на период при  $\varrho = 0,1$ , а при  $\varrho = 0,2$  понадобится уже только 300 отсчетов. Видно, что с ростом  $\varrho$  необходимое количество отсчетов быстро уменьшается, приближаясь к некоторой асимптоте. Приближение дрейфа нуля к границе возможного восстановления при  $\delta_0 = 0,99\varrho$  требует увеличения количества отсчетов примерно на порядок. При этом улучшение восстановления составляет около 0,5 дБ.

На рис. 4, согласно выражения (13), штриховыми линиями представлены зависимости ухудшения отношения сигнал/шум на выходе АЦП до восстановления, а сплошными – после восстановления при допустимом дрейфе нуля  $\delta_0 = 0,9\varrho$ , с количеством усреднений, зависящим от  $\varrho$ .

Анализируя полученные результаты, можно прийти к следующим заключениям. Отношение сигнал/шум на выходе АЦП принципиально возможно восстановить, только если значение дрейфа нуля по модулю меньше, чем СКО аддитивного шума, пришедшего с сигналом. Эффективное восстановление методом скользящего среднего возможно в случае, если модуль дрейфа нуля не превышает 90 % от СКО аддитивного шума, кото-



рое в свою очередь составляет не мене 10 % от ширины интервала отображения АЦП  $\Delta$ . Чем больше значение СКО шума, тем эффективнее и проще восстановление, при этом снижаются требования к стабильности положения точки нуля. Увеличение разрядности АЦП на 1 позволяет снизить на 3 дБ мощность входного шума, при котором возможно эффективное восстановление отношения сигнал/шум на выходе АЦП при условии, что относительная стабильность положения нулевой точки должна остаться на прежнем уровне.

#### Список используемых источников

1. EV10AQ190. Low power QUAD 10-bit 1.25 Gsps ADC Operating up to 5 Gsps. Datasheet. Company «e2v semiconductors», 2010.
2. Walt Kester. Data conversion handbook. Analog Devices, Inc. 2005. 953p.

УДК 623.624

## МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ РАДИОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СТРУКТУРЫ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ СВЧ ТЕХНИКИ

**А. Д. Иванов, Д. Д. Капралов, Д. И. Кирик, Т. Ю. Ковалева**

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

*В работе представлены результаты моделирования и экспериментальных исследований структуры композитов, обеспечивающих, в зависимости от поставленных требований, заданный уровень пропускания или поглощения электромагнитных волн в определенном частотном диапазоне.*

*полимерная матрица, аэродисперсный наполнитель, стеклоткань.*

Одним из приоритетных направлений в материаловедении является разработка функциональных композитных материалов для сверхвысоко-частотной (СВЧ) техники, позволяющих создавать на их основе эффективные радиопоглощающие композиты, покрытия и фильтрующие устройства с малыми потерями в полосе пропускания и большим уровнем поглощения в полосе заграждения.

Функциональные композиты представляют класс радиопоглощающих композиционных материалов (РПМ), позволяющих уменьшать силу и отражение электромагнитного сигнала в сторону источника излучения, с ок-

нами радиопрозрачности в определенных частях частотного диапазона, и являются одним из эффективных средств решения проблем электромагнитной безопасности и электромагнитной совместимости радиоэлектронной техники [1, 2].

В зависимости от структуры композитного материала и типов используемых компонентов составов, комбинируя их объемное содержание, можно создавать радиопрозрачные композитные материалы (РПЗМ) или радиопоглощающие (РПМ) в заданных частях диапазона.

Главным фактором, определяющим качество РПЗМ и радиопоглощающих покрытий (РПП) СВЧ диапазона, является обеспечение заданной величины отражения ( $|\Gamma|$ ) в требуемом частотном диапазоне, при минимально возможных массогабаритных параметрах материала.

Минимально возможные конструктивные массогабаритные параметры обеспечивают эффективность применения РКМ, РПП и радиопрозрачных композитов, как на стационарных, так и на подвижных объектах различного типа и назначения.

Обеспечение требуемых массогабаритных параметров возможно при моделировании электродинамической структуры покрытия и выборе или разработке современного технологического процесса (ТП) синтеза [2, 3].

Проектирование новых радиопоглощающих структур материалов с заданными радиофизическими свойствами осуществляется на первом этапе в следующей последовательности:

- определение типа модели структуры;
- моделирование радиофизических параметров;
- выбор типа технологического процесса изготовления РКМ и нанесения в виде покрытия.

При моделировании функциональных композитных материалов в работе использовался метод приближения геометрической оптики. Приближение геометрической оптики предполагает, что в дальней зоне плоскую электромагнитную волну можно представить в виде луча. Рассматривается наиболее простой случай, когда ЭМВ переходит из одной среды в другую с плоской границей раздела между ними.

Для характеристики границы раздела вводится матрица передачи, включающая коэффициенты передачи и отражения [3].

Распространение и поглощение ЭМВ материальной средой покрытия зависит от проводимости материала, диэлектрической  $\epsilon$  и магнитной  $\mu$  проницаемостей, конструктивных особенностей структуры композита. Моделирование РПП проводилось для одно-, двух- и многослойных структур. Для слоистых структур РКМ учитывались электрофизические параметры слоев основы.

Рассмотрев модель расчета для одного слоя, затем для двух, и так далее, наращивая количество слоев, теоретически возможно вывести формулу для неограниченного числа слоев.

Расчет электродинамических параметров, а именно, коэффициента отражения ЭМВ от однослойного РПП, сводится к расчету волнового сопротивления среды.

Коэффициент отражения определяется суммой двух отраженных волн: от входной границы, при плохом согласовании волновых сопротивлений, и прошедшей поглощающий слой дважды, ослабленной.

Были проведено моделирование РПЗМ и РКМ для двух и более слоев.

Суммарный коэффициент отражения для двухслойной структуры определяется в соответствии с выражением:

$$R_{otr} := R_0 + R_{sloy} \cdot X_0^2 \cdot e^{i \cdot k_0 \cdot 2 \cdot d} + X_0^2 \cdot X_{sloy}^2 \cdot e^{i \cdot k_1 \cdot 2 \cdot d} \cdot e^{i \cdot k_0 \cdot 2 \cdot d},$$

где  $k$  – волновое число, параметр электромагнитной волны, характеризующий распространение волны в среде (комплексная величина);  $R_{otr}$  – полный коэффициент отражения электромагнитной волны от композиционного материала со слоистой структурой, комплексная безразмерная величина;  $|R_e(R_{otr})|$  – модуль вещественной части коэффициента  $R_{otr}$ , непосредственно значение, которое требуется рассчитать;  $R_{sloy}$  – коэффициент отражения (безразмерная комплексная величина) электромагнитной волны от границы слоев [3, 4].

При заданных пределах варьирования электромагнитных параметров для двухслойной структуры составляют матрицы действительных и мнимых диэлектрических и магнитных составляющих.

Последовательное наращивание слоев заключается в том, что характеристическая матрица  $MN$  структуры из  $N$  слоев вычисляется путем умножения матрицы  $MN - 1$  (для структуры из  $N - 1$  слоя) на матрицу  $MN$ , (матрица слоя, который наращивается):

$$MN = MN - 1 \cdot MN.$$

Таким образом, можно вычислить характеристическую матрицу, а значит, и коэффициенты отражения и прохождения для структуры, состоящей из любого числа слоев; при этом слои могут быть разными, для справедливости модели требуется только, чтобы внутри слоя показатель преломления был бы постоянным и комплексным. На рисунке представлен результат расчета для композитов различной толщины, в ограниченном частотном диапазоне.

В определенной части частотного диапазона РПЗМ имеет высокий уровень поглощения.

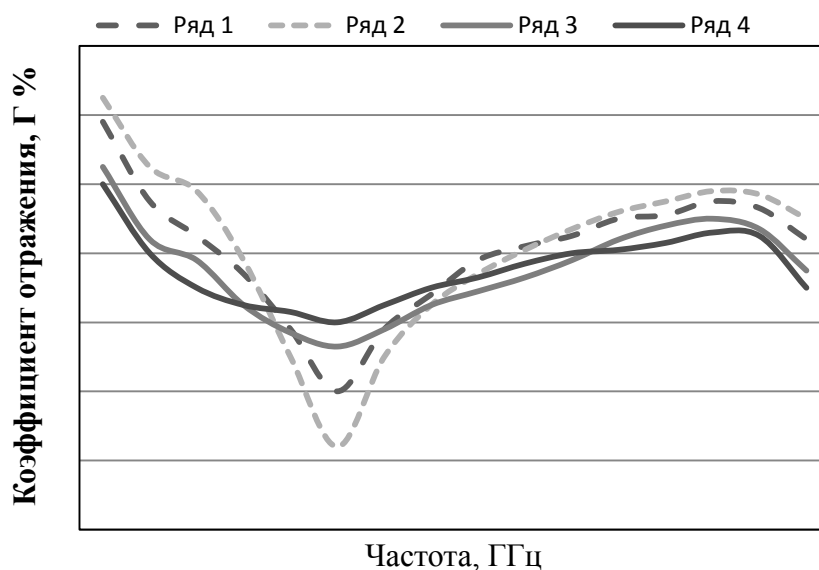


Рисунок. Ряд 1 –  $d = 8$  мм; Ряд 2 –  $d = 1,5$  мм; Ряд 3 –  $d = 2,0$  мм; Ряд 4 –  $d = 2,3$  мм

В лабораторных условиях разработаны технологии внедрения в структуру радиопрозрачных конструкционных композитных материалов поглощающего состава композиции. Принцип внедрения – воздушное послойное напыление в слоистую структуру материала, с последующим спеканием или прессованием.

Проведены измерения радиотехнических характеристик изготовленных лабораторных образцов, полученных по технологии, которая показала возможность создания в дальнейшем опытных конструкционных элементов объектов, обладающих свойствами поглощения ЭМИ в заданном частотном диапазоне.

Уровень поглощения ЭМИ разработанных образцов находится в районе 7–10 дБ в заданном диапазоне частот.

Разработка функциональных (многоцелевых) композитных материалов и покрытий экономически целесообразна, так как их синтез осуществляется на основе одного типа поглощающего состава. РКМ могут быть использованы для изготовления отдельных элементов, экранов защищаемых объектов, а где это невозможно по конструктивным особенностям объекта, применяются покрытия. При этом может быть в значительной степени решена и задача обеспечения электромагнитной совместимости электронных систем бортового оборудования за счет его экранирования.

#### Список используемых источников

1. Бормотов А. Н., Прошин И. А., Васильков А. В. Исследование математических моделей структурообразования композиционных материалов аналитическими методами // Вестник Брянского государственного технического университета. 2011. № 2. С. 62–70.

2. Ковалева Т. Ю., Ермаков А. В., Ковалева А. Г., Кирик Д. И., Иванов А. В. Селективные радиопоглощающие материалы // Прием, передача, обработка и отображение информации о быстропротекающих процессах: сборник статей XXIX Всероссийской НТК, Сочи, октябрь 2013 г. (РАРАН 3 отд.). С. 238–244.

3. Ковалева Т. Ю., Андрищенко М. С. Моделирование и синтез радиопоглощающих материалов для защиты наземной военной техники // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. СПб.: НПО Специальных материалов, 2011. Вып. 9–10. С. 21–26.

4. Ковалева Т. Ю., Ермаков А. В., Ковалева А. Г., Кирик Д. И., Начкебия Л. Л. Математическое моделирование электродинамических параметров многофункционального радиопоглощающего материала // Прием, передача, обработка и отображение информации о быстропротекающих процессах: Сборник статей XXV Юбилейной Всероссийской научно-технической конференции школы-семинара РАРАН. Сочи, октябрь 2014 г. С. 292–297.

УДК 62.519

## РАЗРАБОТКА ПЕРСПЕКТИВНОГО ВАРИАНТА ДИСТАНЦИОННОГО СПОСОБА УПРАВЛЕНИЯ НАСТРОЙКОЙ РАМОЧНОЙ КВ АНТЕННЫ ЗЕНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПОДВИЖНЫХ ОБЪЕКТОВ

**С. А. Иванов, И. Н. Карпов**

Военная академия связи имени Маршала Советского союза С. М. Буденного

*Современные тенденции развития Вооруженных Сил Российской Федерации обуславливают разработки новых антенных устройств и вариантов управления ими. На базе платформы Geniino Mega 2560 R3 построен перспективный вариант дистанционного управления рамочной КВ антенной зенитного излучения.*

*Arduino, дистанционный способ управления антенной.*

Современные тенденции развития Вооружённых Сил РФ обуславливают необходимость поддержания радиосвязи в диапазоне 0–300 км. УКВ радиостанции имеют дальность действия в пределах прямой видимости (порядка десятка километров), а спутниковая связь дорога в эксплуатации и обладает ограниченной доступностью. Возможным решением являются КВ антенны зенитного излучения. Разработка подобных устройств представляет собой достаточно сложный процесс моделирования, расчёта и конструирования. В рамках НИР «Полюс» в настоящий момент создан действующий лабораторный макет одной из таких антенн. Структурная схема макета представлена на рис. 1.

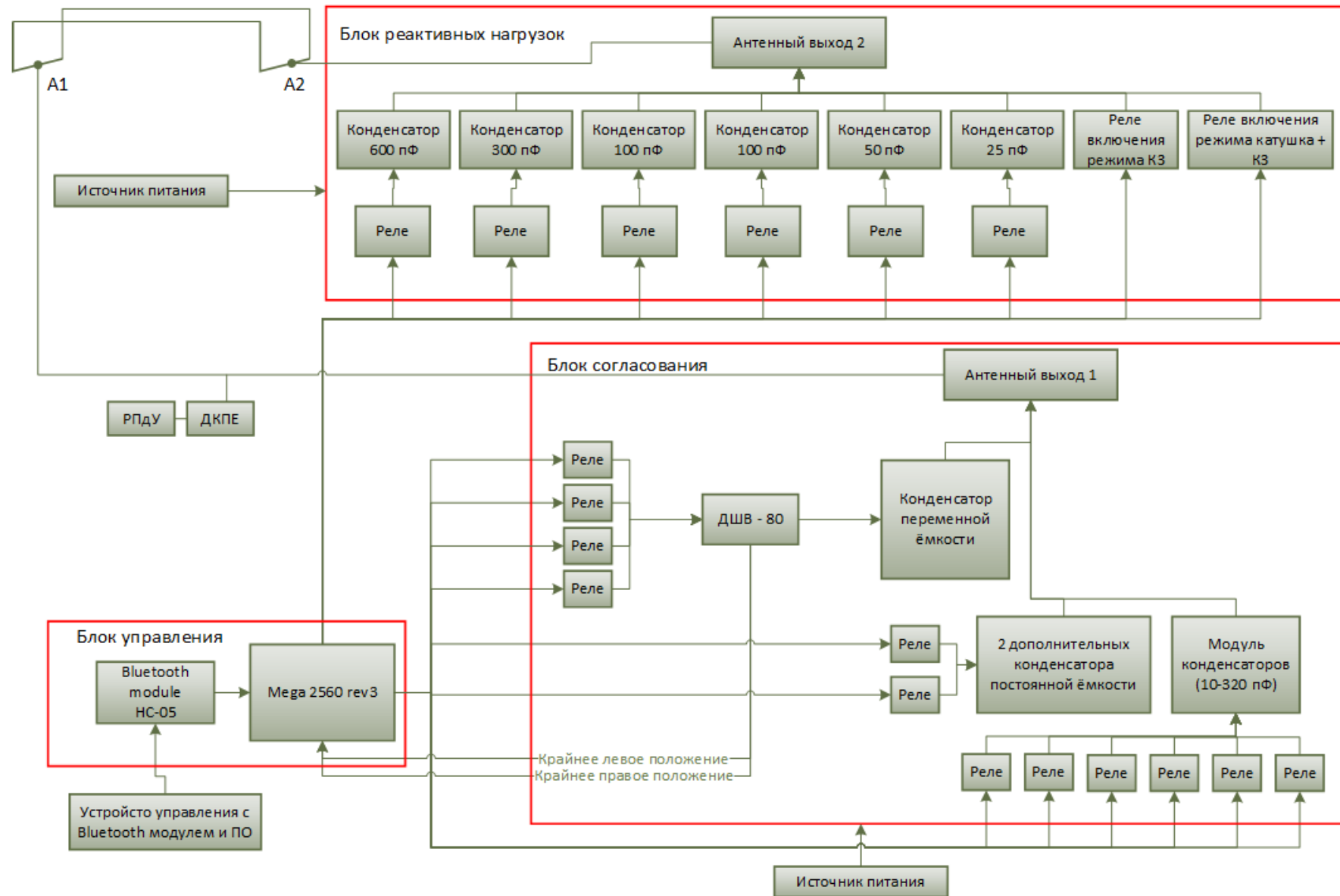


Рис. 1. Структурная схема КВ АЗИ НИР «Полюс»

Устройство управления настройкой антенны выполнено на Arduino Mega 2560 – флагманская платформа для разработки на базе микроконтроллера ATmega 2560. Контроль действий платы осуществляет программное обеспечение (скетч). Его алгоритм представлен на рис. 2. Скетч состоит из двух основных блоков (функций) – setup и loop.

В момент запуска устройства (или нажатия на кнопку перезагрузки) происходит вызов setup и выполнение выражений: установка начальных значений переменных, коэффициентов, режимов работы портов (вызов функции *pinMode*). По завершении работы функции, управление передается в блок loop.

Как видно из рис. 2, блок loop представляет собой бесконечный цикл, состоящий из проверки условия поступления команд и (при выполнении условия) вызова соответствующей функции обработки.

Передача команд построена по технологии Bluetooth. Для её реализации на платформу установлен HC-06 модуль [1].

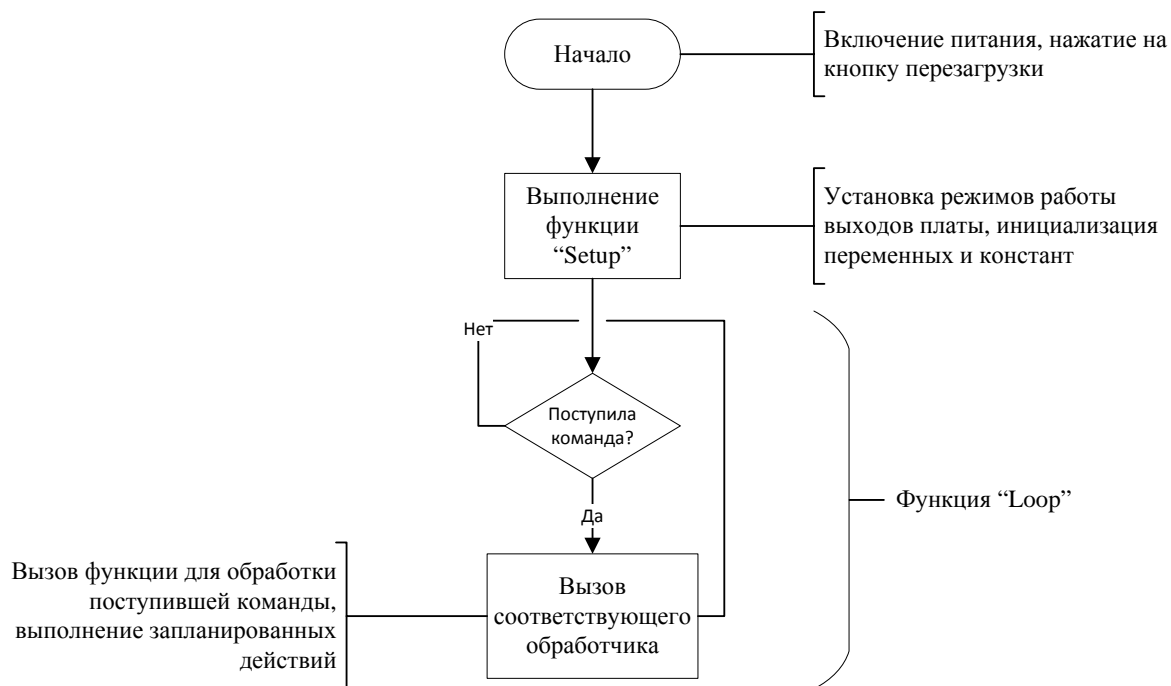


Рис. 2. Алгоритм функционирования платы

Настройка антенны делится на 2 типа: плавная и дискретная. Первый тип выполняет четырехфазный волновой двигатель, а второй – электромеханические реле (второй очереди). В их основу положена функция *digitalWrite*, управляющая состоянием выходных контактов: 5 В или 0 В. Принцип действия реле следующий: установка значения логической «1» (5 В) на сигнальном контакте влечёт за собой срабатывание электромеханического реле. В этом случае нормально замкнутый контакт размыкается, а нормально разомкнутый – замыкается. При подаче на сигнальный

контакт логического нуля или при исчезновении напряжения реле возвращается в нормальное положение: нормально замкнутый контакт замыкается, а нормально разомкнутый – размыкается [2]. Таким образом реализовано управление мощным током при помощи слабых сигналов от микроконтроллера.

Дискретная настройка выполняется конденсаторами. Подключение конденсаторов выполняют реле второй очереди.

Для управления шаговым двигателем (направлением поворота) описаны последовательности чередования импульсов, представляющие собой  $m$ -фазную систему напряжений, питающих обмотки шагового двигателя через усилители мощности (электромеханические реле), принцип работы которых описан выше [3].

Результатом выполненной работы является построение системы полуавтоматического управления КВ антенной зенитного излучения. Перспективность предложенного метода заключается в использовании современной программируемой платформы. Реализация новых функций сводится к написанию дополнительного программного кода, модификациям интерфейса операторского ПО, компилированию и загрузке программы в память платы.

#### Список использованных источников

1. Курбатова Е. А. MATLAB 7. Самоучитель. М.: Вильямс, 2006. 256 с.
2. Бунин С. Г., Яйленко Л. П. Справочник радиолюбителя-коротковолновика. Киев: Техника, 1984. 264 с.
3. Иглин С. П. Математические расчеты на базе MATLAB. СПб.: БХВ–Санкт-Петербург, 2005. 640 с.

УДК 621.3

## ВОЗДЕЙСТВИЕ ВЫСШИХ ГАРМОНИК ТОКА НА ЭЛЕКТРОПОТРЕБИТЕЛЕЙ В СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Е. В. Казакевич<sup>1</sup>, Д. Д. Корякин<sup>2</sup>, И. С. Широков<sup>2</sup>, В. В. Шовдра<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I

<sup>2</sup>Военная академия связи имени Маршала Советского союза С. М. Буденного

*Влияние высших гармоник тока на электропотребителей в энергосистеме. В статье приведены причины появления высших гармоник и объяснены основные формы их влияния на системы электроснабжения. Обсуждаются последствия искажен-*



ного синусоидального напряжения, которое возникло под влиянием высших гармонических тока, для оборудования потребителей электроэнергии.

высшие гармонические тока, синусоидальное напряжение, потребители электроэнергии.

Любые приборы и оборудование с нелинейными характеристиками являются источниками гармоник в своей сети. Высшие гармонические составляющие в токах нелинейных электропотребителей приводят к негативным, а иногда и катастрофическим последствиям [1]:

- дополнительный нагрев и выход из строя конденсаторов, предохранителей конденсаторов, трансформаторов, электродвигателей, люминесцентных ламп и т. п.;

- ложные срабатывания автоматических выключателей и предохранителей;

- наличие третьей гармоники и ее производных 6, 9, 12 и т. д. в нейтрали может потребовать увеличения сечения ее проводника;

- гармонический шум (частые переходы через 0) может служить причиной неправильной работы компонентов систем контроля;

- повреждение чувствительного электронного оборудования;

- интерференция систем коммуникации.

Основными формами воздействия высших гармоник на системы электроснабжения являются:

- увеличение токов и напряжений высших гармоник вследствие параллельного и последовательного резонансов;

- снижение эффективности процессов генерации, передачи, использования электроэнергии;

- старение изоляции электрооборудования и сокращение вследствие этого срока его службы;

- ложная работа оборудования.

Причины искажения формы синусоидального переменного напряжения являются постоянно увеличивающиеся требования к стабильности, приспособляемость и точность контроля в электрическом оборудовании привело к появлению относительно дешевых силовых диодов, тиристоров, SCR (*Silicon Controlled Rectifier*) и других силовых полупроводников. В свою очередь, гармонические искажения напряжений и токов возникают из-за наличия в сетях элементов или оборудования с нелинейной вольт-амперной характеристикой.

Источники искажения могут быть сгруппированы по основным типам.

- силовое электронное оборудование: частотные приводы переменного тока, приводы постоянного тока, источники бесперебойного питания UPS, выпрямители, конвертеры, тиристорные системы, диодные мосты, плавильные печи высокой частоты;

– сварочные машины, дуговые печи, системы управления токами наложенной частоты, дуговые плавильные печи, сварочные автоматы; сварочные машины и дуговые сталеплавильные печи генерируют широкий и непрерывный спектр гармоник, частоты гармоник, генерируемых преобразовательным оборудованием;

– трансформаторы с нелинейными характеристиками, особенно с насыщением;

– статические преобразователи частоты, циклоконверторы, выпрямительные установки;

– индукционные двигатели, двигатели, генераторы; индукционные двигатели могут генерировать гармоники из-за наличия зазора между статором и ротором, особенно в сочетании с насыщением стали;

– бытовая техника: компьютеры, телевизоры, СВЧ-печи, вращающиеся машины — генераторы и двигатели, вращающееся поле которых не идеально синусоидально.

– освещение (ртутные лампы, люминесцентные лампы); газоразрядные осветительные устройства и электронные балласты.

Негативное влияние гармонических составляющих напряжения.

Гармоники, генерируемые нелинейной нагрузкой, создают дополнительные потери в трансформаторах. Гармоники напряжения вызывают в трансформаторах увеличение потерь на гистерезис и потерь, связанных с вихревыми токами в стали, а также потерь в обмотках. Сокращается также срок службы изоляции. Эти потери могут привести к значительным потерям энергии и быть причиной выхода из строя трансформаторов вследствие перегрева. Протекание по обмоткам трансформатора несинусоидальных токов, вследствие поверхностного эффекта и эффекта близости, приводит к увеличению активного сопротивления обмоток трансформатора и, как следствие, к дополнительному нагреву. Срок службы трансформатора зависит от нагрева его частей и не позволяет при несинусоидальном токе использовать трансформатор на всю его номинальную мощность, ее приходится занижать. Например, полная загрузка трансформатора может наступить при использовании лишь 80 % номинальной мощности, указанной в его паспортных данных.

Гармоники, генерируемые нелинейной нагрузкой, создают дополнительные потери в шинпроводах. Эти потери могут привести к значительным потерям энергии и быть причиной выхода из строя шинпроводов вследствие перегрева. Протекание по сжатым в пакет шинам в изоляции несинусоидальных токов, вследствие поверхностного эффекта и эффекта близости, приводит к увеличению активного сопротивления и, как следствие, к дополнительному нагреву. Срок службы шинпровода зависит от нагрева его частей и не позволяет при несинусоидальном токе использовать шинпровод на всю его номинальную мощность. В результате при-

ходится занижать мощность и выбирать шинопровод с большим сечением, что существенно увеличивает стоимость объекта. Например, полная загрузка шинопровода может наступить при использовании лишь 80–85 % номинальной мощности, указанной в его паспортных данных [2]. Если не предпринимать никаких мер, то срок службы шинопровода может сократиться, в зависимости от амплитуды гармоник, в 1,1–2 раза.

Сокращение срока службы электрооборудования из-за интенсификации теплового и электрического старения изоляции. При рабочих температурах в изоляционных материалах протекают химические реакции, приводящие к постепенному изменению их изоляционных и механических свойств. С ростом температуры эти процессы ускоряются, сокращая срок службы оборудования. В конденсаторах потери энергии пропорциональны частоте, поэтому несинусоидальный ток приводит к их дополнительному нагреву. В электрических машинах токи нулевой последовательности создают дополнительное подмагничивание стали, что приводит к ухудшению их характеристик и дополнительному нагреву сердечников (статоры асинхронных двигателей, магнитопроводы трансформаторов).

Возможен перегрев и разрушение нулевых рабочих проводников кабельных линий вследствие их перегрузки токами третьей гармоники. Это происходит тогда, когда токи в нулевых рабочих проводниках значительно превосходят токи фазных проводников, а защита от токовых перегрузок в цепях нулевых проводников не предусмотрена (п. 1.3.10 ПУЭ). Отметим также ускоренное старение изоляции при повышении рабочей температуры токонесущих проводников. Нулевой рабочий проводник не защищен от перегрева автоматическими выключателями либо предохранителями (п. 3.1.17 ПУЭ). «Старые» системы электроснабжения проектировались только под линейную нагрузку, т. е. потребляемый электроприемниками ток содержал лишь основную гармонику (50 Гц). Следовательно, ток в нулевом рабочем проводнике не мог превосходить ток в наиболее нагруженной фазе, т. е. защита на фазных проводниках одновременно защищала от перегрева и нулевой рабочий проводник [3]. В случае нелинейных электропотребителей токи в нулевых рабочих проводниках превышают фазные (предельно – в 1,73 раза, когда ширина импульса тока равна 60 электрическим градусам). Поэтому значения длительно допустимых токов, приведенных в таблицах 1.3.4–1.3.7 ПУЭ, в случае нелинейных электропотребителей должны быть снижены. На корпусах электрооборудования, подключенного к нулевому проводу, могут возникать напряжения, оказывающие при прикосновении раздражающее влияние на человека.

Все сказанное в равной мере относится и к шинопроводам. В ПУЭ еще не прописаны количественные данные по неравномерности распределения токов по шинам (по фазам) и по величинам допустимых гармоник. Однако 10 % барьер или предел по гармоникам, указанный для проводников одинаково верен и для шинопроводов.

Резонансные явления на частотах высших гармоник. При наличии высших гармоник в электрических цепях с сосредоточенными и распределенными параметрами, какими могут быть представлены блоки, узлы и распределительные сети системы электропитания, возникает опасность появления резонансных явлений. При возникновении резонансного или близкого к нему режима на какой-либо высшей гармонике тока или напряжения эта составляющая оказывается больше, чем амплитудное значение первой гармоники тока (напряжения) на тех же участках цепи. Это отрицательным образом может отразиться на работоспособности отдельных элементов и узлов системы.

Влияние высших гармоник на устройства защиты энергосистем. Гармоники могут нарушать работу устройств защиты или ухудшать их характеристики. Характер нарушения зависит от принципа работы устройства. Цифровые реле и алгоритмы, основанные на анализе выборки данных или точки пересечения нуля, особенно чувствительны к гармоникам. Чаще всего изменения характеристик несущественны. Большинство типов реле нормально работает при коэффициенте искажения до 20 %. Однако увеличение доли мощных преобразователей в сетях может в будущем изменить ситуацию.

Проблемы, возникающие из-за гармоник, различны для нормальных и аварийных режимов. Происходит ложное срабатывание предохранителей и автоматических выключателей вследствие дополнительного нагрева внутренних элементов защитных устройств [4]. Этот процесс обусловлен протеканием несинусоидальных токов и, следовательно, действием поверхностного эффекта и эффекта близости.

Помехи в сетях телекоммуникаций могут возникать там, где силовые кабели и кабели телекоммуникаций расположены относительно близко. Вследствие протекания в силовых кабелях высокочастотных гармоник тока, в кабелях телекоммуникаций могут наводиться помехи. Магнитные поля высших гармоник прямой и обратной последовательности частично компенсируют друг друга, поэтому наибольшее влияние на телекоммуникации оказывают гармоники, кратные трем. Чем выше порядок гармоник, тем больше уровень помех, наведенных ими в телекоммуникационных кабелях.

Вибрация в электромашинных системах. Наличие высших гармоник в напряжении питания индукционных электродвигателей является причиной возникновения в магнитном потоке составляющих на частотах высших гармоник, которые в свою очередь будут наводить гармоники ЭДС и, как следствие этого, в обмотках ротора появляются высшие гармоники тока [5]. Эти гармоники будут взаимодействовать с основным магнитным потоком, создавая дополнительные механические моменты на валу электрической машины. В результате создаются гармонические пульсации вращающего момента на валу двигателя.

Снижение уровня выпрямленного напряжения. Деформация синусоиды питающего напряжения приводит к снижению значения амплитуды входного напряжения, вследствие этого снижается напряжение на конденсаторе.

Влияние гармоник в аварийных режимах. Устройства защиты обычно реагируют на напряжение или ток основной частоты, а все гармоники в переходном режиме либо отфильтровываются, либо не воздействуют на устройство. Последнее характерно для электромеханических реле, особенно используемых в максимальной токовой защите. Эти реле имеют большую инерцию, что делает их практически не чувствительными к высшим гармоникам. Более существенным оказывается влияние гармоник на работу защиты, строящейся на измерении сопротивления.

Влияние высших гармоник на телевизоры. Гармоники, увеличивающие пик напряжения, могут вызвать искажения изображения и изменение яркости.

Влияние высших гармоник на компьютеры. Существуют пределы на допустимые уровни искажений в сетях, питающих компьютеры и системы обработки данных. В некоторых случаях они выражаются в процентах от номинального напряжения (для компьютера IBM – 5 %) либо в виде отношения пика напряжения к действующему значению (СДС устанавливает допустимые его пределы значениями  $1,41 \pm 0,1$ ) [6].

Влияние гармоник на измерение мощности и энергии. Измерительные устройства обычно калибруются при чисто синусоидальном напряжении и увеличивают погрешность при наличии высших гармоник. Величина и направление гармоник являются важными факторами, так как знак погрешности определяется направлением гармоник. Погрешности измерения, вызываемые гармониками, сильно зависят от типа измерительной аппаратуры. Обычные индукционные счетчики, как правило, завышают показания на несколько процентов (по 6 %) при наличии у потребителя источника искажения. Такие потребители оказываются автоматически наказанными за внесение искажений в сеть, поэтому в их собственных интересах установить соответствующие средства для подавления этих искажений.

#### Список используемых источников

1. Гармоники тока и напряжения в электросетях. URL: <http://www.matic.ru/clients/articles/harmonics-voltage-and-current-in-electrical-networks/>
2. Гармонические искажения в сети от источников света. URL: <http://www.dialux-help.ru/stati/garmonicheskie-iskazhenija-v-seti-ot-istochnikov-sveta-upravljajemyh-yelektronymi-priborami.html>
3. Гармоники высшего порядка. Энергетические системы. URL: <http://rca.ru/knigi/arhivy/energeticheskie-sistemy-14.html>
4. Григорьев О., Петухов В., Соколов В., Красилов И. Высшие гармоники в сетях электроснабжения 0,4 кВ. URL: [http://www.news.elteh.ru/arh/2003/18\\_19/14.php](http://www.news.elteh.ru/arh/2003/18_19/14.php)

5. Высшие гармоники в сетях 0,4 кВ. URL: <http://stroika.biz.ua/articles/605/>
6. Влияние высших гармоник напряжения и тока на работу электрооборудования. URL: <http://electricalschool.info/main/elsnabg/260-vlijanie-vysshikh-garmonik.html>

УДК 621.396

## ПОЗИЦИОНИРОВАНИЕ ИСТОЧНИКОВ РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ В МОБИЛЬНЫХ СЕТЯХ ПРИ ОТСУТСТВИИ ПРЯМОЙ ВИДИМОСТИ

А. В. Киреев

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

*Ситуации, при которых необходимо быстро и точно определить местонахождение человека, встречаются постоянно. Самым распространенным решением этой задачи является использование системы глобального позиционирования Global Positioning service (GPS) или ГЛОНАСС. Однако, главный недостаток этой технологии заключается, в том, что точность определения местоположения снижается при плохих погодных условиях. Поэтому целесообразно рассмотреть возможности использования метода измерения разности времени приема сигналов.*

*позиционирование, время прихода сигнала, метод наименьших квадратов.*

Позиционирование абонентов в мобильных сетях является коммерчески выгодной задачей для обнаружения транспортных средств, людей и грузов. Для операторов мобильной связи и поставщиков оборудования информация о местоположении пользователей позволяет более точно анализировать и впоследствии корректировать тарифные планы. Возможные сценарии использования технологий локализации постоянно расширяются [1]. Основной задачей настоящей работы является анализ точности алгоритма позиционирования, основанного на времени прихода сигнала в зависимости от наличия/отсутствия прямой видимости. Корректность полученных зависимостей будет подтверждена границей Крамера-Рао.

Существует множество методик для определения местоположения абонента посредством измерения времени прихода сигнала. Один из них – это линейный метод наименьших квадратов, основанный на ряде Тейлора первого порядка. Данный метод является итеративным, требует начального приближения и достаточно требователен к вычислительным возможностям.

Примем, что базовые станции (БС) передают сигнал по беспроводному каналу к абонентской станции (АС). Пусть  $B$  это количество БС, с известными координатами:

$$p_b = [x_b \ y_b]^T, b \in \{1, 2, \dots, B\}.$$

Тогда  $M < B - 1$  это число БС, которые принимают  $N = \{1, 2, \dots, M\}$  сигналов не прямой видимости. Обозначим  $\tau_b$  как время прихода сигнала от БС:

$$\tau_b(x, y, l_b) = \frac{1}{c} \left( \sqrt{\tilde{x}_b^2 + \tilde{y}_b^2} + l_b \right),$$

где  $x_b^2 = x - x_b$  и  $y_b^2 = y - y_b$  это относительные расстояния,  $l_b$  дополнительная дальность распространения ( в случае прямой видимости  $l_b = 0$ ).

Как уже отмечалось выше, линейный метод наименьших квадратов основан на аппроксимации рядом Тейлора первого порядка. Таким образом этот метод [2] с учетом времени прихода сигнала можно переписать:

$$d_b[i] = d_{b,i}(x, y, x_b, y_b) + e_b[i]; i \in \{1, 2, \dots, N\},$$

где  $d_b[i]$  –  $i$ -тое измерение расстояние,  $d_{b,i}(x, y, x_b, y_b)$  – истинная дальность,  $e_{b,i}$  – ошибка от  $i$ -того измерения,  $N$  – количество измерений.

Примем, что  $\check{p} = [\check{x} \ \check{y}]^T$  – это исходное значение, элементы которого  $\check{x} = x - \delta_x$ ,  $\check{y} = y - \delta_y$ , где  $(\delta_x, \delta_y)$  соответствующая пара ошибочных значений для исходного. Теперь посредством ряда Тейлора аппроксимируем эту линейную регрессию:

$$d_b[i] \simeq d_{b,i}(\check{x}, \check{y}) + d_{b,i}(\check{x})\delta_x + d_{b,i}(\check{y})\delta_y + e_b[i],$$

где  $d_{b,i}(\check{x})$  и  $d_{b,i}(\check{y})$  получаются как:

$$\dot{d}_{b,i}(\check{x}) = \frac{\partial}{\partial x} d_{b,i}(x, y, x_b, y_b) \text{ при } x = \check{x}, y = \check{y},$$

$$\dot{d}_{b,i}(\check{y}) = \frac{\partial}{\partial y} d_{b,i}(x, y, x_b, y_b) \text{ при } x = \check{x}, y = \check{y}.$$

Для  $N$  измерений:

$$\mathbf{d}_b \simeq \Delta \delta + \check{\mathbf{d}}_b + \mathbf{e}_b,$$

где

$$\Delta = \begin{bmatrix} \dot{d}_{b,1}(\check{x}) & \dot{d}_{b,1}(\check{y}) \\ \vdots & \vdots \\ \dot{d}_{b,N}(\check{x}) & \dot{d}_{b,N}(\check{y}) \end{bmatrix},$$

$$\delta = [\delta_x \ \delta_y]^T,$$

$$\mathbf{d}_b = [d_b[1] \ d_b[2] \ \dots \ d_b[N]]^T,$$

$$\check{\mathbf{d}}_b = [d_{b,1}(\check{x}, \check{y}) \ d_{b,2}(\check{x}, \check{y}) \ \dots \ d_{b,N}(\check{x}, \check{y})]^T,$$

$$e_b = [e_b[1] \ e_b[2], \dots, e_b[N]]^T.$$

Если ошибки измерения независимы друг от друга, то решение вышеупомянутой линейно модели можно представить как:

$$\hat{\delta}_{LLS} = \operatorname{argmin} \|\Delta\delta - (d_b - \check{d}_b)\|_E^T = (\Delta^T \Delta)^{-1} \Delta^T (d_b - \check{d}_b),$$

где  $\|\cdot\|_E$  – эвклидова норма.

Для моделирования процесса позиционирования в программной среде Matlab помимо рассмотренного линейного метода, были реализованы методы наименьших квадратов с весовыми коэффициентами и метод максимального правдоподобия. Также была смоделирована мобильная сеть из семи сот. Параметры полученной модели позволяют симулировать сценарий, при котором сигнал от каждой соты принимается в отсутствии прямой видимости, и подсчитать среднеквадратическую ошибку точности позиционирования (рис.).

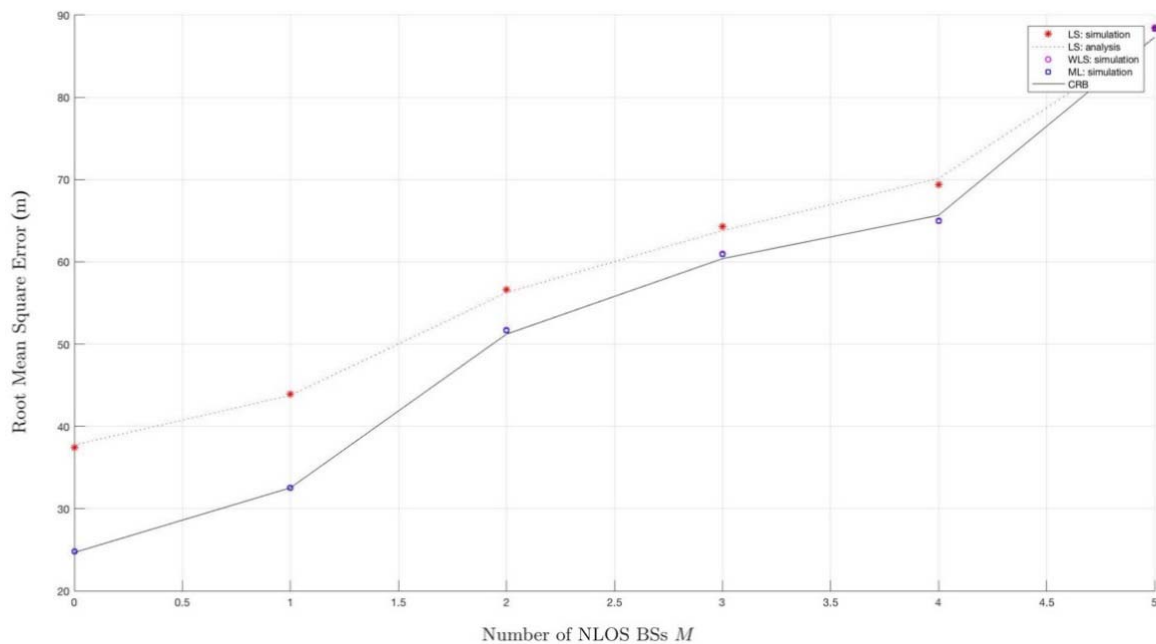


Рисунок. Зависимость СКО от числа БС без прямой видимости

Полученный график показывает, что в условиях неяркой видимости наилучшим образом работает метод максимального правдоподобия, однако некоторые его значения вышли за пределы границы Крамера-Рао, что свидетельствует о некорректности данной оценки при 4 и более БС без прямой видимости. Таким образом, использование линейного метода наименьших квадратов будет более целесообразным при большом количестве БС с плохим приемом. В дальнейшем планируется повторить эксперимент уже с реальными сигналами с использованием программно-конфигурируемого радио [3, 4].



**Список используемых источников**

1. Reza Zekavat R. Michael Buehrer: Handbook of Position Location: Theory, Practice and Advances. Wiley-IEEE Press (2011). 1281p.
2. Foy W. H. Position-location solutions by Taylor-series estimation // IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems. 1976. № 2. PP. 187–194.
3. Фокин Г. А., Лаврухин В. А., Волгушев Д. Б., Киреев А. В. Практическая реализация приемопередатчика OFDM-2 на SDR платформе Ettus B210 в среде GNU Radio // Информационные технологии моделирования и управления. 2016. Т. 99. № 3. С. 178–187.
4. Киреев А. В., Фокин Г. А. Позиционирование объектов в сетях LTE посредством измерения времени прохождения сигналов // Труды учебных заведений связи. 2016. Т. 2. № 1. С. 68–72.

*Статья представлена научным руководителем, кандидатом технических наук, доцентом Г. А. Фокиным.*

**УДК 621.398****АЛГОРИТМ ОПТИМИЗАЦИИ ТОПОЛОГИИ СЕТИ  
МОНИТОРИНГА МЕДИЦИНСКИХ ПАРАМЕТРОВ****Д. И. Кирик, А. Г. Малышев**

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

*В данной статье разработан алгоритм оптимизации топологии сети мониторинга медицинских параметров. Основной параметр – мощность передатчика. На основании уравнения радиолокации в свободном пространстве определена дальность действия датчика. С помощью алгоритма кластеризации оптимизируется данный параметр, а, следовательно, изменяется не только расстояние, но и расположение датчиков в пространстве.*

*телемедицина, сеть, датчик, оптимизация, алгоритм кластеризации.*

Одними из основных требований к датчикам, входящим в состав телемедицинской системы мониторинга, являются малые габариты и мощность передатчика. Пусть задана мощность передатчика  $P$ .

Воспользуемся уравнением радиолокации в свободном пространстве [1], откуда выразим такой параметр как дальность действия:

$$D_{\max} = \sqrt[4]{\frac{P_0 * G^2 * S_3 * \lambda^2 * \eta_1 * \eta_2}{(4\pi)^3 * P_{\text{ПР. min}}}}$$

где  $P_0$  – мощность датчика,  $G$  – коэффициент усиления,  $S_3$  – эффективная площадь датчика,  $\lambda$  – длина волны,  $\eta_1$  – коэффициент полезного действия (к.п.д.) датчика,  $\eta_2$  – к.п.д. линии передачи,  $P_{\text{пр. min}}$  – минимальная мощность приемника при максимальной чувствительности.

Далее воспользуемся кластерным анализом [2]. Суть кластерного анализа заключается в следующем. Имеется выборка  $X^l = \{x_1, \dots, x_l\} \subset X$  и функция расстояния между объектами  $p = (x, x')$ . Требуется разбить выборку на непересекающиеся подмножества, называемые кластерами, так, чтобы каждый кластер состоял из объектов, близких по метрике к  $p$ . При этом каждому объекту  $x_i \in X^l$  приписывается метка (номер) кластера  $u_i$ .

Алгоритм кластеризации – это функция  $a : X \rightarrow Y$ , которая любому объекту  $x \in X$  ставит в соответствие метку кластера  $y \in Y$ . Множество меток  $Y$  в некоторых случаях известно заранее, однако чаще ставится задача определить оптимальное число кластеров, с точки зрения того или иного критерия качества кластеризации [2].

Основными целями кластеризации могут быть различными в зависимости от особенностей конкретной прикладной задачи:

- понять структуру множества объектов  $X^l$ , разбив его на группы схожих объектов. Упростить дальнейшую обработку данных и принятия решений, работая с каждым кластером по отдельности;
- сократить объём хранимых данных в случае сверхбольшой выборки  $X^l$ , оставив по одному наиболее типичному представителю от каждого кластера;
- выделить нетипичные объекты, которые не подходят ни к одному из кластеров.

В первом случае число кластеров стараются сделать поменьше. Во втором случае важнее обеспечить высокую степень сходства объектов внутри каждого кластера, а на количество кластеров нет ограничения. В третьем случае наибольший интерес представляют отдельные объекты, не вписывающиеся ни в один из кластеров.

Однако мы выделяем первый случай, ведь нам будут известны производитель и характеристики датчика. Для этого воспользуемся одним из алгоритмов кластеризации [2].

Алгоритм FOREL (ФОРмальный Элемент). Пусть задана некоторая точка  $x_0 \in X^l$  и параметр  $R$ . Выделяются все точки выборки  $x_i \in X^l$ , попадающие внутрь сферы  $p = (x_i, x_0) \leq R$ , и точка  $x_0$  переносится в центр тяжести выделенных точек [3]:

$$R = \sum_{i=1}^k \sum_{x_i \in K_0} (x_i),$$

где  $K_0$  – текущий кластер. Первое суммирование ведется по всем кластерам выборки, второе суммирование – по всем объектам.

Эта процедура повторяется до тех пор, пока состав выделенных точек, а значит и положение центра, не перестанет меняться. Доказано, что эта процедура сходится за конечное число шагов. При этом сфера перемещается в место локального сгущения точек. Центр сферы  $x_0$  в общем случае не является объектом выборки, потому и называется формальным элементом. Для вычисления центра необходимо, чтобы множество объектов  $X$  было не только метрическим, но и линейным векторным пространством. Это требование естественным образом выполняется, когда объекты описываются числовыми признаками, например, уровнем сигнала. Преимущество этого алгоритма – возможность описывать кластеры произвольной геометрической формы. Варьируя параметр  $R$ , можно получать кластеризации различной степени детальности. Если кластеры близки по форме к шарам, можно сделать  $R$  достаточно большим. Для описания кластеров более сложной формы следует уменьшать  $R$ . В нашем случае параметром  $R$  является дальность действия  $D_{\max}$ .

Алгоритм довольно чувствителен к выбору начального положения точки  $x_0$  для каждого нового кластера. Для устранения этого недостатка предлагается генерировать несколько (порядка 10...20) кластеризаций. Поскольку начальное положение центров выбирается случайным образом, эти кластеризации будут довольно сильно отличаться. Окончательно выбирается та кластеризация, которая доставляет наилучшее значение заданному функционалу качества.

Метод  $k$ -средних. Действие алгоритма таково, что он стремится минимизировать суммарное квадратичное отклонение точек кластеров от центров этих кластеров:

$$R = \sum_{i=1}^k \sum_{x_j \in S_i} (x_j - \mu_i)^2,$$

где  $k$  – число кластеров,  $S_i$  – полученные кластеры,  $i = 1, 2, \dots, k$ ,  $\mu_i$  – центр масс векторов  $x_j \in S_i$ .

Основная идея заключается в том, что на каждой итерации вычисляется центр масс для каждого кластера, полученного на предыдущем шаге, затем векторы разбиваются на кластеры вновь в соответствии с тем, какой из новых центров оказался ближе по выбранной метрике [4].

Алгоритм завершается, когда на какой-то итерации не происходит изменения центра масс кластеров. Это происходит за конечное число итераций, так как количество возможных разбиений конечного множества конечно, а на каждом шаге суммарное квадратичное отклонение  $R$  не увеличивается, поэтому заикливание невозможно.

Метод  $k$ -средних крайне чувствителен к выбору начальных приближений центров. Случайная инициализация центров может приводить к плохим кластеризациям. Для формирования начального приближения

лучше выделить  $k$  наиболее удалённых точек выборки: первые две точки выделяются по максимуму всех попарных расстояний; каждая следующая точка выбирается так, чтобы расстояние от неё до ближайшей уже выделенной было максимально.

Таким образом мы имеем два решения данной задачи:

1. Вычисляя дальность действия  $D_{\max}$  мы приравниваем её к параметру  $R$  (радиусу сферы кластера), дальнейшие вычисления ведём по алгоритму FOREL и получаем минимальное количество датчиков в кластере.

2. Вычисляем дальность действия  $D_{\max}$ . Используя метод  $k$ -средних, выбираем произвольное количество кластеров, проводя дальнейшие вычисления находим суммарное квадратичное отклонение  $R$  и выбираем наиболее приближённое к значению дальности действия  $D_{\max}$ .

#### Список используемых источников

1. Бакулев П. А. Радиолокационные системы. М.: Радиотехника, 2004. 320 с.
2. Кулаичев А. П. Методы и средства комплексного анализа данных; 4-е изд., перераб. и доп. М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2006. 512 с., ил.
3. Баврин И. И. Теория вероятностей и математическая статистика. М.: Высш. шк., 2005. 160 с., ил.
4. Виленкин Н. Я., Виленкин А. Н., Виленкин П. А. Комбинаторика. М.: ФИМА, МЦНМО, 2006. 400 с.

УДК 621.398

## МОДЕЛЬ СЕТИ МОНИТОРИНГА МЕДИЦИНСКИХ ПАРАМЕТРОВ

**Д. И. Кирик, А. Г. Малышев**

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

*Разработана модель сети мониторинга на основании математического представления в виде графа, а также таких характеристик сети как связность и надежность.*

*телеметрия, случайный граф, связность, надежность, матрица смежности.*

Бурное развитие науки и промышленности, неудержимый рост объемов поступающей информации привели к тому, что человек оказался не в состоянии воспринимать и перерабатывать все ему предназначенное. Широкая автоматизация практически всех отраслей привела к коренной перестройке измерительной техники: в ее задачу, наряду с измерением,

входит информационное обслуживание исследуемого объекта, которое включает автоматический сбор, представление, доставку, отображение, обработку и анализ информации.

Одну из основных ниш в современной промышленности занимает телеметрия и как следствие телеизмерение [1].

Сущность телеизмерения заключается в том, что измеряемая величина, предварительно преобразованная в ток или напряжение, дополнительно преобразовывается в сигнал, который затем передается по каналу связи. Таким образом, передается не сама измеряемая величина, а эквивалентный ей сигнал, параметры которого выбирают так, чтобы искажения при передаче были минимальными.

Телеметрия широко используется в медицине, в частности для наблюдения за пациентами, находящимися под угрозой возникновения патологической сердечной деятельности, в основном пребывающих в кардиологических диспансерах [2]. К таким пациентам подключаются измерительные, записывающие и передающие устройства. Зарегистрированные данные могут быть использованы врачами в диагностике состояния пациента. Благодаря функциям сигнала тревоги медицинские сестры могут быть оповещены при возникновении резких обострений или опасных состояний для пациента.

Также есть система доступная для применения операционными медсестрами для наблюдения за состоянием, в котором состояния сердца могут быть исключены.

Телеметрия используется в медицине разведки для негласного получения информации о параметрах, характеризующих функциональное состояние и здоровье сотрудника. С этой целью разработаны и внедрены малогабаритные радиометрические устройства, способные записывать магнитокардиограммы (т. е. характеристики деятельности сердца), магнитоэнцефалограммы (мозга), магнитомиограммы (мышц, гладкой мускулатуры кишечника). Эти сведения в автоматическом режиме передаются в ситуационный центр врачам группы, обслуживающей сотрудника разведслужбы.

Однако насколько связной и надежной является такая сеть? Ведь предстоит иметь дело с тяжелобольными пациентами и сбой в работе датчика нужно свести к минимуму.

Одной из важнейших характеристик качества сети является связность. В нашем случае математической моделью сети является граф, в котором узлы сопоставляются в соответствии вершинам графа, а соединяющие их каналы – дугам (ребрам) графа [3]. В связном графе для любой пары вершин всегда существует хотя бы одна цепь (маршрут).

Граф можно описать, перечислив все пары узлов, непосредственно соединенных с ним линиями связи. Обычно это делается с помощью цело-

численной матрицы, в которой задается число линий от каждого узла ко всем остальным.

Эта матрица называется матрицей смежности [4]. При отсутствии петель (циклов), соединяющих узел сам с собой диагональные элементы матрицы равны нулю. Одной из важнейших характеристик качества сети является связность. В связном графе для любой пары вершин всегда существует хотя бы одна цепь (маршрут). Понятие связности имеет для сети фундаментальное значение. Высокая связность сети предполагает, что такая сеть надежна. Высокая связность, достигаемая при минимальной стоимости сети, делает сеть оптимальной. Существуют детерминированные и вероятностные оценки связности сети.

### *Детерминированные оценки связности*

Вершинная (узловая) связность – мера защищенности графа от распада на не связные части при удалении его вершин.

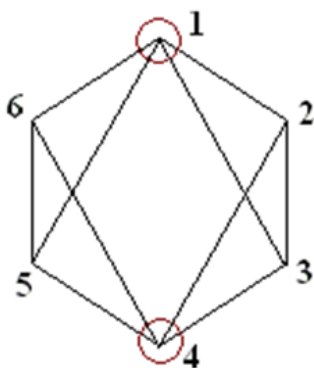


Рис. 1. Граф, отображающий вершинную связность

Удаление узлов 1 и 4 разрывает граф (рис. 1). Вершинная связность равна 2. Удаление ребер, входящих в узел 3 делает граф несвязным. Реберная связность графа равна 3.

Множество узлов, удаление которых делает сеть не связной, также называется узловым сечением. Аналогично, множество ребер, удаление которых делает сеть не связной, называется реберным сечением. Поэтому узловая связность соответствует минимальному узловому сечению, а реберная связность – минимальному реберному сечению. Для проверки связности сети используются матрицы смежности.

### *Вероятностные оценки связности*

В реальных условиях надежность узлов и каналов связей сети не является абсолютной. Отказы могут происходить вследствие отказов аппаратуры, а также внешних агрессивных воздействий. Поэтому в реальной сети каждый ее компонент, узел или канал, может быть взвешен вероятностью существования. Физически она представляет собой вероятность того, с какой надежностью данный компонент сети выполняет свои функции. В качестве вероятностной меры надежности может быть использована вероятность безотказной работы в течение заданного промежутка времени [1].

Наиболее простая характеристика «время жизни» сети – вероятность связности всех вершин графа сети. Состояние сети при удалении части вершин или ребер графа могут быть благоприятными и неблагоприятными. Неблагоприятным состоянием будем считать распад графа на не связанные

части с учетом технической надежности и внешних условий работы. «Время жизни» сети определяется суммой вероятностей всех возможных состояний, в которых вершины графа связаны:

$$P = \sum_{i=1}^l P(A_i),$$

где  $i = 1, 2, 3, \dots, l$ ;  $l$  – число благоприятных состояний;  $P$  – вероятность связности всех вершин графа;  $A_i$  – благоприятные состояния, в которых граф оказывается связанным;  $P(A_i)$  – вероятность благоприятного состояния.

Также вероятность связности сети может быть определена методом статистического моделирования сети [3].

Другой характеристикой надежности сети является вероятность связности двух вершин. Две вершины будут связаны тогда, когда в графе существует хотя бы один путь  $M_i$  (где  $i = 1, 2, 3, \dots, k$ ), связывающий рассматриваемые вершины. Если  $B_i$  – событие, состоящее в том, что хотя бы один такой путь существует, а  $P(B_i)$  – вероятность такого события, то вероятность связности двух вершин:

$$P_{CB} = \sum_{i=1}^k P(B_i),$$

где  $k$  – количество цепей или благоприятных случаев.

Для приближенной оценки связности пар узлов используют метод простых сечений. Пару вершин можно рассматривать как фрагмент сети. В некоторых практических случаях требуется определять связность фрагмента сети, включающего от 3-х и более узлов в сети. Такой показатель называют фрагментной связностью [4]. Метод простых сечений удобно рассмотреть на примере.

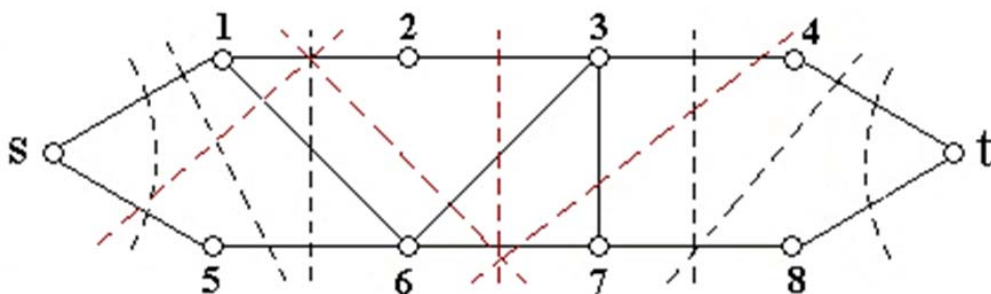


Рис. 2. Граф, отображающий метод простых сечений.

Требуется определить связность вершин  $s$  и  $t$  (рис. 2). Для этого надо определить сечения из 2, 3, 4 и более ребер сети, удаление которых разры-

вает связь между вершинами  $s$  и  $t$ . Количество сечений по 2, 3, 4 и т. д. ребер подставляется в формулу:

$$P_{st} = ap^2 + bp^3 + cp^4 + \dots,$$

где  $a$ ,  $b$ ,  $c$  – количество простых сечений по 2, 3, 4 ребра. В нашем примере разъединение сети произойдет, если выйдет из строя не менее двух ребер, таких сечений 6 и 5 сечений по три ребра.

Таким образом, вероятность связности сети оказывает непосредственное влияние на надежность сети, временные характеристики доставки сообщений и работу сети в целом.

#### Список используемых источников

1. Назаров А. В., Козырев Г. И., Шитов И. В. Современная телеметрия в теории и на практике. СПб.: Наука и техника, 2007. 672 с.
2. Блажис А. К., Дюк В. А. Телемедицина. СпецЛит. 2001. 143 с.
3. Райгородский А. М. Модели случайных графов. М.: МЦМНО, 2011. 136 с.
4. Гладких О. Б., Белых О. Н. Основные понятия теории графов: учебное пособие. Елец: ЕГУ им. И. А. Бунина, 2008. 175 с.

УДК 621.396.49

## СИСТЕМНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ IP СЕТЕЙ СВЯЗИ С ВНУТРИСИСТЕМНЫМИ ПОМЕХАМИ

С. В. Козлов, Е. А. Спирина

Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева – КАИ

*В статье обоснована взаимосвязь процедур приёма сигналов, частотно-территориального планирования и маршрутизации, а также необходимость разработки метода системной оптимизации IP сетей связи с использованием объединённого вектора параметров сети, заключающегося в совместной оптимизации процедур приёма сигналов, частотно-территориального планирования и маршрутизации и обеспечивающего комплексное снижение влияния внутрисистемных помех. Приводится алгоритм работы метода системной оптимизации IP сетей связи, а также оценка эффективности разработанного метода.*

*IP сети связи, внутрисистемные помехи, совместная оптимизация, объединённый вектор параметров сети, маршрутизация, приём сигналов, частотно-территориальное планирование.*

В настоящее время практически все сети связи работают в условиях внутрисистемных помех, которые приводят к снижению их потенциальных



характеристик. Целью работы является повышение пропускной способности IP сетей связи за счёт комплексного снижения влияния внутрисистемных помех. На сегодняшний день снижение влияния внутрисистемных помех в IP сетях ведётся в отдельности по трём основным направлениям: приём сигналов, частотно-территориальное планирование и маршрутизация. Для повышения потенциальных характеристик сетей широкополосного радиодоступа в работе [1] предлагается объединить процедуры, реализующие указанные направления, в единый алгоритм. Детальный анализ этих процедур показывает наличие их взаимосвязей и в произвольных IP сетях, которые схематично представлены на рис. 1 для сети, состоящих из  $K$  передающих и  $L$  приёмных узлов.

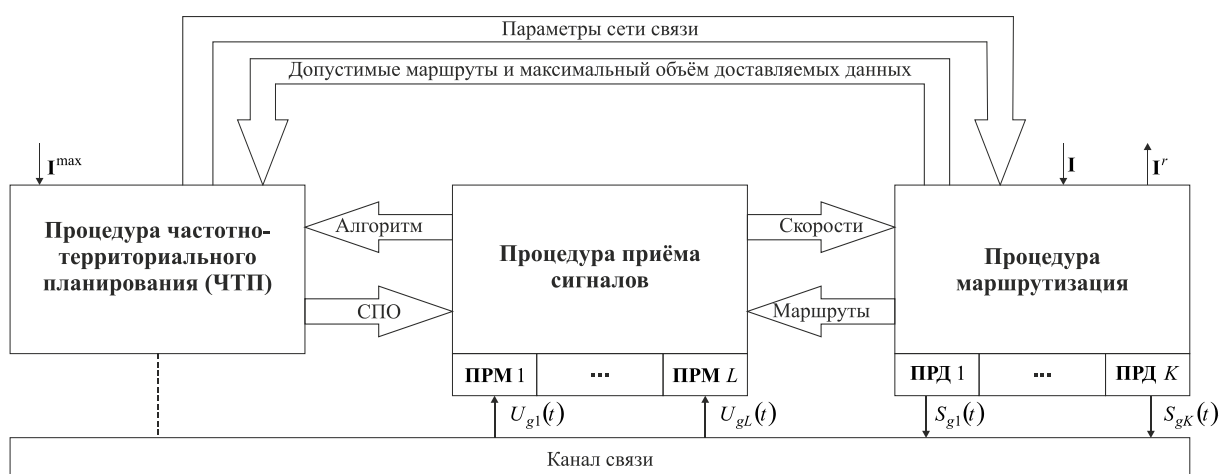


Рис. 1. Схема взаимосвязей процедур приёма сигналов, частотно-территориального планирования и маршрутизации

Задачей рассматриваемой сети является доставка данных текущим объёмом  $I$ , поступивших на вход процедуры маршрутизации. Эти данные должны доставляться до приёмных узлов с вероятностью ошибки, меньшей допустимой  $Per$ , с использованием конечного множества допустимых маршрутов  $\{w\}$ .

Множество допустимых маршрутов формируется в процедуре маршрутизации на основе параметров сети связи, определяемых на этапе частотно-территориального планирования (ЧТП).

В условиях заданного объёма доставляемых данных максимизация пропускной способности сети связи достигается при выборе оптимального набора маршрутов на основе критерия минимизации времени доставки. Однако в существующих методах маршрутизации время доставки пакетов по маршруту  $g$  определяется без учёта взаимного влияния входящих в него каналов связи.

В тоже время, выбор того или иного маршрута  $g$  приводит к одновременному использованию для передачи информации определённого набора передающих узлов. Сигналы от этих передающих узлов  $S_{gk}(t)$  в условиях

взаимного влияния каналов связи создают поток внутрисистемных помех, т. е. формируют определённую сигнально-помеховую обстановку (СПО), зависящую от выбранного маршрута. Таким образом, выбор маршрута влияет на СПО в канале связи, а соответственно и на информационную скорость передачи данных и на время доставки пакетов.

Значит, оптимизация распределения информации должна осуществляться с учётом влияния потока внутрисистемных помех, возникающего при передаче данных по тому или иному выбранному маршруту.

Информационные скорости передачи данных  $V$ , необходимые для процедуры маршрутизации, определяются процедурой приёма сигналов в зависимости от СПО в канале связи, характеризующейся параметрами колебания на входе приёмных узлов  $U_{gi}(t)$ , и применяемых алгоритмов приёма  $R^S$ .

СПО в реальных условиях, как правило, обладают высокой сложностью и динамичностью, что приводит к объективной сложности описывающих её моделей. Применение сложных моделей требует достаточно точного задания большого количества их параметров, оценка которых для реальных сетей связи представляет дополнительную сложность.

Однако применение системного подхода в части задачи приёма сигналов позволяет осуществлять «управление» СПО с целью уменьшения неопределённости, существующей в канале связи.

Так, в случае учёта в процедуре приёма сигналов информации об используемых маршрутах, имеющейся в процедуре маршрутизации, снижается неопределённость СПО за счёт получаемых сведений об используемых для передачи данных сигналах. Учёт этой же информации в процедуре ЧТП позволяет оценивать и оптимизировать СПО для каждого из допустимых маршрутов с точки зрения снижения уровня внутрисистемных помех. В этом случае каждый маршрут характеризуется своей наилучшей СПО, для которой достижение наибольших информационных скоростей передачи данных будет обеспечивать свой оптимальный алгоритм приёма.

Учёт в процедуре маршрутизации сведений об информационных скоростях передачи данных, имеющих в процедуре приёма сигналов, позволит осуществить формирование оптимального набора маршрутов по критерию минимизации времени доставки пакетов, информация о котором обеспечит, как уже было отмечено, снижение неопределённости СПО для процедуры приёма сигналов.

Кроме того, учёт сведений об информационных скоростях передачи данных позволит процедуре маршрутизации оценить и выдать источнику информации реальный объём данных, который может быть доставлен по сети до каждого из приёмных узлов  $\Gamma$ , а его использование в процедуре ЧТП обеспечит проверку соответствия параметров сети предъявляемым требованиям – возможности доставки требуемого объёма данных  $\Gamma^{\max}$ .

Учёт информации о выбранном алгоритме приёма, имеющейся в процедуре приёма сигналов, и сведений о допустимых маршрутах и реальном объёме доставляемых данных, имеющихся в процедуре маршрутизации, а также требуемого объёма доставляемых данных  $\Gamma^{\max}$  в процедуре ЧТП позволит оптимизировать параметры СПО с учётом выбранного алгоритма приёма.

Таким образом, процедуры приёма сигналов, частотно-территориального планирования и маршрутизации взаимосвязаны друг с другом, и для их корректного взаимодействия необходимо сформировать объединённый вектор параметров сети, включающий параметры перечисленных процедур, в который должны войти текущий, требуемый и реальный объёмы доставляемых данных, множество допустимых маршрутов, оптимальный набор маршрутов, используемые алгоритмы приёма, информационные скорости передачи данных, параметры СПО и параметры сети.

В связи с тем, что параметры всех процедур взаимосвязаны, оптимизация каждой из них в отдельности не гарантирует достижение возможных значений пропускной способности IP сети связи в целом.

Таким образом, дополнительным резервом повышения пропускной способности IP сетей связи с внутрисистемными помехами является разработка метода системной оптимизации этих сетей с использованием объединённого вектора параметров сети, заключающегося в совместной оптимизации процедур приёма сигналов, частотно-территориального планирования и маршрутизации и обеспечивающего комплексное снижение влияния внутрисистемных помех.

Метод системной оптимизации IP сетей связи представляет собой некоторую последовательность взаимосвязанных действий, направленных на комплексное снижение влияния внутрисистемных помех путём одновременного снижения потока помех в процедуре маршрутизации, эффективной борьбы с внутрисистемными помехами в процедуре приёма сигналов и снижения влияния внутрисистемных помех на выбранный алгоритм приёма в процедуре ЧТП.

Алгоритм работы метода системной оптимизации IP сетей связи с внутрисистемными помехами приведён на рис. 2.

При разработке метода системной оптимизации процедура частотно-территориального планирования была разбита на два этапа: статический, который проводится на начальном этапе планирования IP сети связи, а также при изменении её параметров, и динамический, который проводится в процессе функционирования сети. Задачей статического этапа планирования сети является обеспечение соответствия между требуемым  $\Gamma^{\max}$  и реальным  $\Gamma^r$  объёмами доставляемых данных.

Для уточнения СПО для каждого маршрута в отдельности проводят этап динамического планирования, задачей которого является максимизация реального объёма доставляемых данных.

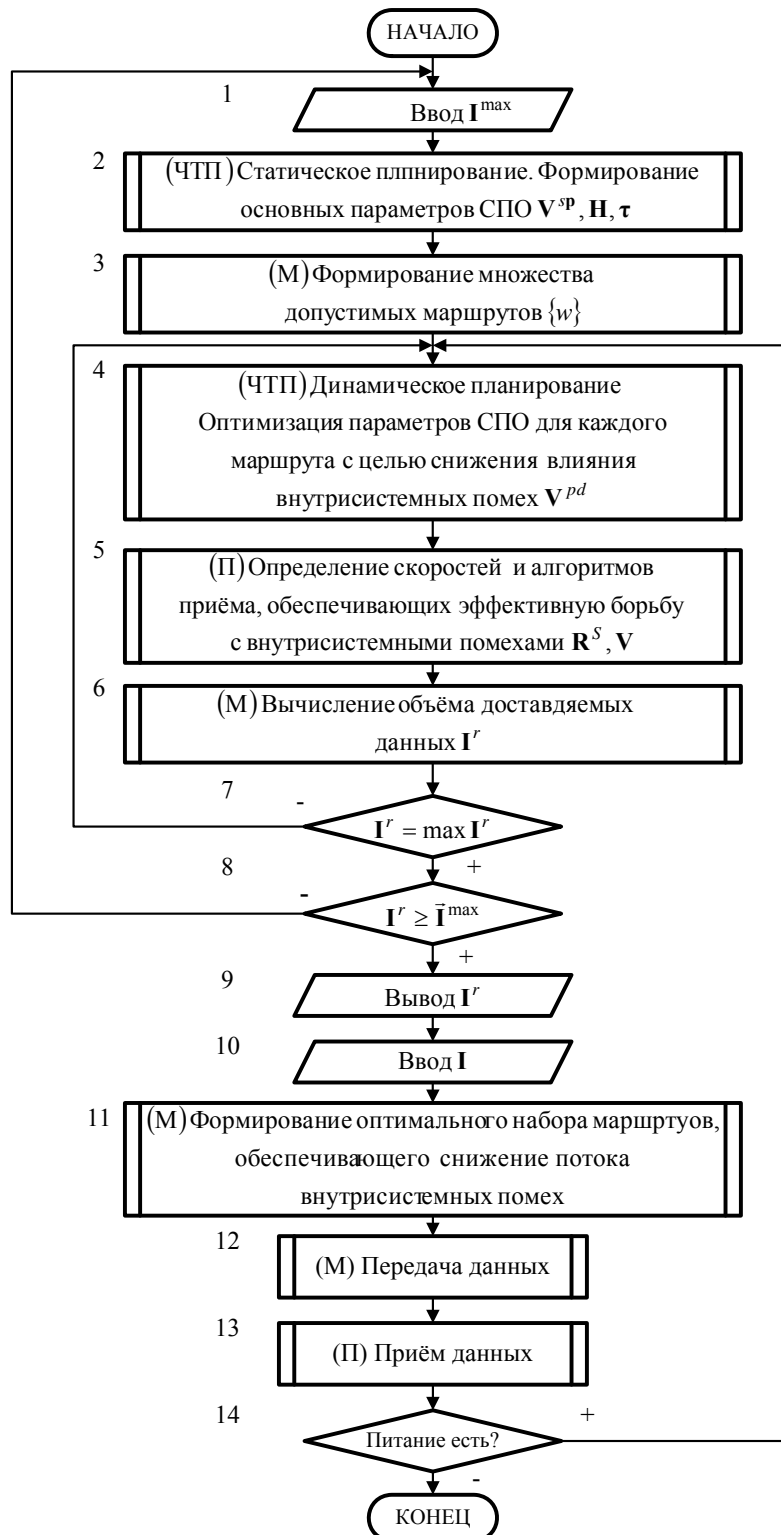


Рис. 2. Общий алгоритм работы сети связи на основе метода системной оптимизации с использованием объединённого вектора параметров сети

В алгоритме, представленном на рис. 2 принадлежность блоков процедурам приёма сигналов, частотно-территориального планирования и маршрутизации обозначена буквами П, ЧТП и М, соответственно.

Первоначально в блоке 2 проводится статическое планирование, задачей которого является формирование основных параметров СПО, обеспечивающих доставку требуемого объёма данных  $\Gamma^{\max}$ , путём задания вектора параметров статического планирования  $\mathbf{V}^{ps}$ , на основе которого в процедуре маршрутизации формируются множество допустимых маршрутов  $\{w\}$  (блок 3) и оценки матриц переноса  $\mathbf{H}$  и задержек  $\tau$ .

Далее для каждого из допустимых маршрутов в блоке 4 проводится динамическое планирование, целью которого является оптимизация параметров СПО для каждого из маршрутов, позволяющее максимизировать реальный объём доставляемых данных  $\Gamma^r$  за счёт снижения уровня внутрисистемных помех.

На основе информации об СПО для каждого маршрута в процедуре приёма (блок 5) осуществляется выбор алгоритма приёма, обеспечивающего максимизацию информационной скорости передачи данных за счёт эффективной борьбы с внутрисистемными помехами.

Далее в блоке 6 в процедуре маршрутизации на основе полученной матрицы скоростей  $\mathbf{V}$  определяется реальный объём доставляемых данных  $\Gamma^r$ .

Совместное использование процедур динамического ЧТП, приёма сигналов и маршрутизации в блоках 4–6 позволяет найти максимальное значение  $\Gamma^r$ .

Если найденное значение реального объёма доставляемых данных  $\Gamma^r$  не соответствует требованиям к сети, то необходимо перейти к этапу статического планирования (блок 1).

Если реальный объём доставляемых данных  $\Gamma^r$  соответствует требованиям к сети, то формируется частотно-территориальный план IP сети связи и объединённый вектор параметров  $\mathbf{V}^u$ . Таким образом, сеть готова к передаче данных.

На основе параметров, входящих в  $\mathbf{V}^u$ , в процедуре маршрутизации (блок 11) по критерию минимизации времени доставки для текущего объёма доставляемых данных  $\Gamma$  формируется оптимальный набор маршрутов, обеспечивающий минимизацию потока внутрисистемных помех.

Одновременно по результатам доставки данных, осуществляемой в блоках 12 и 13, происходит коррекция параметров каналов связи.

Для поддержания оптимальных параметров СПО и максимизации значения реального объёма доставляемых данных  $\Gamma^r$  в блоке 4 заново проводится динамическое планирование сети связи. При этом изменяются параметры сети, которые влияют на информационные скорости передачи данных и реальный объём доставляемых данных  $\Gamma^r$ . Эти изменения будут учтены при передаче следующих данных.

Таким образом, осуществляется комплексное снижение влияния внутрисистемных помех, включая снижение потока помех в процедуре маршрутизации, эффективную борьбу с внутрисистемными помехами в про-

цедуре приёма сигналов путём максимизации информационных скоростей передачи данных за счёт выбора алгоритма приёма, и снижение влияния внутрисистемных помех на выбранный алгоритм приёма в процедуре ЧТП путём управления СПО.

Анализ эффективности метода системной оптимизации проведён для участка сети широкополосного радиодоступа, развёрнутой в городе Казани.

На рис. 3 показана информационная скорость передачи данных по IP сети связи в целом при использовании в отдельности разработанных процедур приёма сигналов, ЧТП и маршрутизации и при применении метода системной оптимизации по сравнению с исходной сетью, не использующей разработанные процедуры.

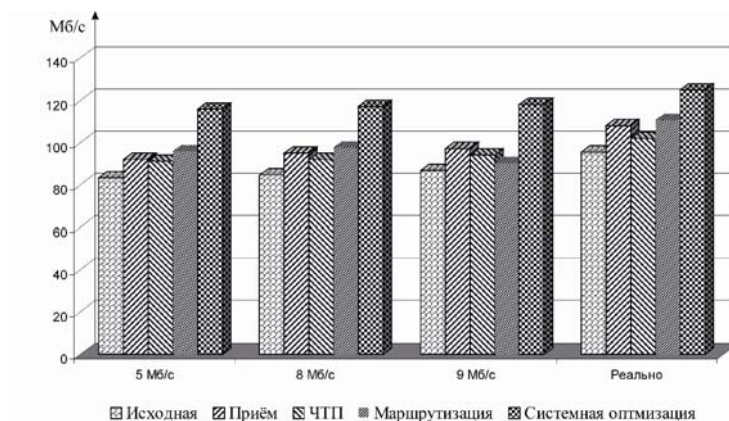


Рис. 3. Информационная скорость передачи данных по сети широкополосного радиодоступа в целом

Моделирование работы фрагмента IP сети связи с использованием метода системной оптимизации указанных сетей и входящих в него процедур в отдельности показало:

- каждая из процедур в отдельности обеспечивает повышение пропускной способности сети в среднем на 10 Мб/с;
- метод системной оптимизации обеспечивает повышение пропускной способности сети в среднем на 30 Мб/с.

Таким образом, применение метода системной оптимизации позволяет повысить пропускную способность IP сети связи существенно больше, чем при применении каждой из процедур в отдельности.

#### Список используемых источников

1. Спирина Е. А., Козлов С. В., Винтенкова Ю. С. Разработка единого алгоритма приема, планирования, оптимизации, адаптивного использования ресурсов и маршрутизации в сетях широкополосного радиодоступа // Нелинейный мир. 2014. Т. 12. № 10. С 9–12.

УДК 004.5

## ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ АУДИОВИЗУАЛЬНЫХ ИММЕРСИВНЫХ СИСТЕМ

**А. К. Колесов, Д. А. Парицкая**

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

*В статье проанализированы: понятие среда, типы погружающих сред, термин иммерсивный, виды иммерсивных систем, особенности, проявляющиеся в процессе взаимодействия человека с технической системой. Высокая степень погружения пользователя достигается различными способами, в том числе, использованием систем виртуальной реальности. Именно эта технология заложена в основу построения аудиовизуальной иммерсивной среды в научно-образовательном центре «Медиацентр».*

*иммерсивные системы, виртуальная реальность, дополненная реальность, смешенная реальность, технологии, коммуникации.*

Инфотелекоммуникационные системы и сети проникли фактически во все отрасли деятельности человека, предоставляя огромные массивы данных здесь и сейчас. Эффективный анализ и управление данными возможны благодаря разработкам инновационных интерфейсов. Сегодня звуковые сигналы, вибрация, управление касанием и графические оповещения успешно дополняют друг друга, обеспечивая полимодальное взаимодействие. В настоящее время активный интерес исследователей и разработчиков вновь приобрели т. н. «иммерсивные» среды виртуальной реальности.

Понятие среда чрезвычайно широко используется в научной и практической терминологии и в своем основном значении понимается как нечто, окружающее данный объект. С точки зрения системного анализа среда – это система, в которую изучаемая система включена как подсистема в иерархию более высокого уровня. В кибернетическом подходе среда рассматривается как источник полезной или бесполезной для системы информации. В гуманитарных науках понятие «среда» часто употребляется совместно с понятиями «природа», «мир», «культура», «язык».

В прошлом веке благодаря развитию вычислительных систем и компьютерных технологий человек смог создать отличную от естественной среды физической реальности новую искусственную среду – виртуальную реальность.

В 1994 г. профессор Пол Милгрэм и профессор Фумио Кисино описали [1] континуум реальность – виртуальность, охватывающий все комбинации реальных и виртуальных объектов (рис.). В физической реальности

окружающей среды все объекты реальны, с ними можно взаимодействовать и ощущать. В полностью виртуальной среде все объекты, взаимодействия, ощущения и среда сгенерированы компьютером. В пространстве между ними расположена смешанная реальность в виде дополненной реальности, добавляющей к ощущениям из реального мира мнимые вспомогательные (в т. ч. информационно-графические объекты поверх физических предметов), и дополненная виртуальность, в виртуальное пространство которой интегрированы физические объекты или люди, с возможностью взаимодействия с виртуальным миром в режиме реального времени.

реальная среда	дополненная реальность	дополненная виртуальность	виртуальная среда
0 %	1–25 % процент цифровых данных [2]	26–99 %	100 %




Рисунок. Континуум реальность – виртуальность

В настоящее время в публикациях разных авторов достаточно часто встречается, заимствованный из английского языка, термин – иммерсивный, которого нет в словарях русского языка. Согласно [3] прилагательное «иммерсивный» применяется к экрану компьютера или компьютерным системам и означает «создающий трехмерное изображение, которое словно окружает пользователя», т. е. окружающий. Но в настоящее время слово иммерсивный применяется в зарубежных и отечественных публикациях в другом значении – «погружающий», для которого существует прилагательное иммерсионный от лат. *immersio* погружение (в жидкость).

В [4] дано определение иммерсивности – «(букв. – погружение, эффект присутствия) – комплекс ощущений человека, находящегося в искусственно созданном трехмерном мире (среде), в котором он может менять точку обзора, приближать и удалять объекты и т. п.».

Фактически, два прилагательных становятся синонимами, и «иммерсивный» следует понимать, как «обеспечивающий полный эффект присутствия, погружающий в виртуальную среду».

Присутствие как чувство нахождения человека в определённой среде следует отличать от иммерсивности, т. к. первое понятие определяет внут-



рение, субъективные компоненты средового опыта, а второе связано с внешними, технологическими, физическими характеристиками среды.

Иммерсивной (погружающей) средой называется среда, взаимодействие с которой ведет к возникновению чувства присутствия.

Таким образом, аудиовизуальная иммерсивная система – комплекс методов и технологий, позволяющих создать иммерсивную виртуальную реальность: невещественную реальность, сенсорно сходную с вещественной, условно воспринимаемую как вещественная и обладающую свойствами, позволяющими ей быть ясно идентифицируемой различными субъектами [5].

Эта реальность порождается в сознании человека в процессе взаимодействия со сложными техническими системами – компьютерными системами виртуальной реальности, обладает собственной уникальной логикой, временем и пространством, существует только во время нахождения пользователя в этой реальности, а также способна интерактивно отвечать на его действия.

Существующие исследования виртуальных реальностей, как правило, выделяют пять основных свойств [6], характеризующих аудиовизуальную иммерсивную систему.

– Иммерсивность – основное свойство, отражающее возможности среды по вовлечению и ориентации субъекта в системе отношений, определяемой содержанием среды.

– Интерактивность – степень, до которой пользователь может участвовать в изменении и формировании содержания установленной среды в режиме реального времени.

– Интенсивность. В виртуальной реальности пользователь должен концентрироваться, сосредотачиваться на множестве существенной информации. Интенсивность среды проявляется в наличии в ней множества ресурсов, связанных с включением психофизиологической структуры человека в искусственные или естественные сферы деятельности.

– Иллюстративность – виртуальная реальность должна представлять информацию в полной наглядной, желательно вдохновляющей форме, т. е., как и в игре, в иммерсивной виртуальной реальности должна присутствовать эмоциональная напряженность, связанная также со свойством интенсивности.

– Интуитивность – в виртуальной реальности информация должна легко восприниматься, среда должна быть интуитивно понятной. При этом среда должна обеспечивать стабильность форм, обусловленных многообразием содержания.

Виртуальная реальность (англ. *virtual reality*, VR, искусственная реальность) является наиболее ярким примером иммерсивной среды и представляет собой созданный техническими средствами мир, передаваемый

человеку через его ощущения: зрение, слух, осязание и другие. Виртуальная реальность имитирует как воздействие, так и реакции на воздействие. Для создания убедительных ощущений реальности компьютерный синтез свойств и реакций виртуальной реальности производится в реальном времени.

Объекты виртуальной реальности обычно ведут себя близко к поведению аналогичных объектов физической реальности. Пользователь может воздействовать на эти объекты в соответствии с реальными законами физики (столкновение с предметами, гравитация, отражение и т. п.). Однако часто в развлекательных целях пользователям виртуальных миров позволяет больше, чем возможно в реальной жизни (например: видеть сквозь стены, летать и т. п.). Системами «виртуальной реальности» называются устройства, которые более полно по сравнению с обычными компьютерными системами имитируют взаимодействие с виртуальной средой, путём воздействия на все пять имеющихся у человека органов чувств.

Исторически основные усилия при разработке систем виртуальной реальности были направлены на совершенствование зрительной и слуховой составляющей. Особенно четко это прослеживается в игровой индустрии. Но кроме пяти основных чувств – зрения, слуха, осязания, обоняния и осязания – по общепринятому мнению, у человека есть еще несколько.

Эквибрицепция – чувство равновесия, которое определяется содержащими жидкость полостями в нашем внутреннем ухе.

Проприоцепция – или «осознание тела», понимание того, где находятся части нашего тела, даже мы не чувствуем или не видим их. Например, способность дотронуться пальцем до кончика носа с закрытыми глазами.

Хроноцепция – ощущение чувства времени, как оно замедляется или ускоряется.

Ноцицепция – восприятие боли кожей, суставами и органами тела.

Термоцепция – чувство тепла (или его отсутствия) на коже.

Замена зрительной информации виртуальным изображением позволяет оказывать воздействие на указанные чувства. Например, при катании на сгенерированных компьютером «американских горках», пользователь изменяет положение своего тела, реагируя на наклоны вагонетки.

На базе научно-образовательного центра «Медиацентр» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет им. проф. М. А. Бонч-Брувича (НОЦ «Медиацентр» СПбГУТ) созданы фото и видео панорамы, системы генерации амбиофонических звуковых ландшафтов. На известном петербургском мероприятии Ночь Музеев в Музее связи им. А. С. Попова сотрудники НОЦ продемонстрировали полимодальный звуковой интерфейс с многопараметрическим интерфейсом ввода на основе манипулятора от игровой приставки Nintendo Wii [7].

Научно-исследовательская работа, проводимая в НОЦ «Медиацентр», направлена на объединение аудио и визуальной части с помощью методов построения виртуальных иммерсивных среды для достижения эффекта погружения при демонстрации с помощью систем виртуальной реальности.

#### Список используемых источников

1. Milgram P., Kishino A. F. A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays // IEICE Transactions on Information and Systems. 1994. Vol. E77-D, No 12. pp. 1321–1329.
2. Гонка реальности: виртуальная, дополненная и смешанная [Электронный ресурс] // AR Conference URL: <https://ar-conf.ru/ru/news/gonka-realnosti-virtualnaya-dopolnennaya-i-smeshannaya> (дата обращения 29.03.2017).
3. Definition of immersive in English [Электронный ресурс] // Oxford University Press URL: <https://en.oxforddictionaries.com/definition/immersive> (дата обращения 29.03.2017).
4. Складская Г. Н. Современный толковый словарь живого русского языка: в 2 т. / под ред. Г. Н. Складской. М.: Эксмо, 2007.
5. Сергеев С. Ф. Эргономика иммерсивных сред: методология, теория, практика: автореф. дис. ... д-ра псих. наук: 19.00.03 / Сергеев Сергей Федорович. СПб., 2010. 42 с.
6. Сергеев С. Ф. Введение в инженерную психологию и эргономику иммерсивных сред: учебное пособие. СПб: Изд-во СПбГУ ИТМО, 2011. 258 с.
7. Рогозинский Г. Г., Щекочихин А. В. Применение методов сонификации потоков данных и сенсорных сетей в системе распределенной генерации звуковых образов // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании: сб. науч. ст. V Международной научно-технической и научно-методической конференции. Т. 1. СПб. 2016. С. 520–524. URL: <http://www.sut.ru/doci/nauka/5apino/apino2016.pdf> (дата обращения 29.03.2017).

*Статья представлена заведующим кафедрой, доктором технических наук, профессором А. А. Гоголем.*

**УДК 621.396.677.3**

## **ОСНОВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ СЛОЖНОГО ПРОСТРАНСТВЕННО-ФАЗОМАНИПУЛИРОВАННОГО СИГНАЛА**

**Л. М. Коновалов**

Ленинградское отделение научно-исследовательского института радио

*Приводятся особенности представления сложного пространственно-временного сигнала и его основные свойства в сравнении с классическим широкополосным временным сигналом вида ФМ ПСП. Делается вывод о возможности обобщения рассматри-*

*ваемого метода обработки сигналов данного класса на активную пространственно-временную фильтрацию.*

*пространственно-фазоманипулированный сигнал, сложный пространственно-временной сигнал, антенный элемент, антенная решетка, ФМ ПСП.*

В статье рассматривается сложный пространственно-фазоманипулированный (ПФМ) сигнал [1, 2], который позволяет эффективно решать задачи помехозащиты и ЭМС, не расходуя на эти цели ресурс пропускной способности радиолинии, как это присуще классическим широкополосным временным сигналам [3]. Подходы к формированию и обработке сигналов рассматриваемого класса изложены в [4]. Здесь основное внимание сосредоточим на особенностях представления ПФМ сигнала в соответствующих базисах, дадим толкование его обработки с помощью многоэлементной антенной решетки и подчеркнем возможность его обобщения на активную пространственно-временную фильтрацию.

Как показано в [2, 4] необходимым условием работы с ПФМ сигналами является наличие антенной решетки (АР), состоящей из  $2n+1$  пространственно-разнесенных антенных элементов (АЭ). При этом АЭ должны иметь различную электрическую длину, а разница в электрической длине соседних элементов  $l$  и расстояние между ними по фронту  $d$  должны быть равны  $\lambda/2$ , где  $\lambda$  – длина волны. Суммарная электрическая длина пар, соответствующих передающих и приемных элементов при этом должна оставаться одинаковой. В направлении излучения ПФМ сигнала ( $\theta_B = \theta_T = \theta^0$ ) указанное значение  $l$  обеспечивает задержку сигнала на время  $\Delta\tau = l/c$ , где  $c$  – скорость света и  $\Delta\tau \ll T_C$ , где  $T_C$  – цифровой информационный сигнал. Тогда, при поочередном задействовании АЭ в соответствии с информационным потоком, ПФМ сигнал в точке приема будет представлять собой последовательность радиоимпульсов, фазовые соотношения которых отличаются на величину разности хода волн и зависят от параметров конструкции АР  $d, l$ , а в побочных направлениях определяются еще и углами наблюдения сигнала  $\theta_{B,T}$ . Роль формирователя ПФМ сигнала выполняет АР, функционирующая на передающей стороне радиолинии. В процессе формирования ПФМ сигнала определяющими являются пространственные параметры. Их учет, наряду с высокоскоростным, случайным законом переключения АЭ, позволяет рассматривать процесс пространственно-фазовой манипуляции поля как возможность получения сложного пространственно-временного сигнала (ПВС). Сложность ПВС может быть охарактеризована соотношением между его комплексной огибающей, интервалом корреляции и относительным запаздыванием сигнала в различных точках антенной решетки, что определяется условием [3]:

$$\frac{|D(d_{m1,L}) - D(d_{mn,L})|}{c} \gg \frac{1}{\Delta F_C},$$

где  $L$  – размер апертуры АР;  $d_{m1}, d_{mN}$  – радиус-векторы крайних точек антенной системы,  $D$  – расстояние от точки  $d_m$  раскрыва АР до точки анализа,  $\Delta F_C$  – ширина спектра сигнала.

Случайность закона коммутации выражается как в возможности равновероятного выбора любого из АЭ, принадлежащего данной АР, так и длительности времени его задействования для связи. Конструкция АР может быть, как плоской, так и линейной. С учетом случайности, вносимой в закон коммутации, во всех точках пространства кроме точки, лежащей на линии заданного направления, имеет место сложный многократно фазоманипулированный ПВС. В заданной точке свертка данного сигнала обеспечивается приемной АР. Накопление элементов сложного ПВС при этом может осуществляться когерентно, либо при фиксированном времени задействования АЭ некогерентно. Заметим, что в системе синхронизации при использовании данного подхода нет необходимости, поскольку разность хода волн, действующих в заданном направлении, имеет фиксированную величину. Кроме того, свертка подобного ПВС осуществляется непосредственно в приемной АР, имеющей идентичные параметры и конструкцию с передающей АР.

Рассматриваемый метод можно обобщить и на побочные направления, где  $\theta_B \neq \theta^0$ ,  $\theta_T \neq \theta^0$ . В этом случае за счет наличия разности хода сигналов, излучаемых АЭ, сложный ПФМ приближается к сигналам вида ФМ ПСП. Параметры ПФМ определяются скоростью коммутации  $F = 1/\tau$ , углами наблюдения  $\theta_B$ ,  $\theta_T$  и конструкцией АР  $\lambda(\theta)$ , т. е.  $\Delta\varphi = f[F, \theta_B, \theta_T, \lambda(\theta)]$  [1]. Устранение разности хода волн в заданной точке пространства в этом случае обеспечивается выбором соответствующих АЭ и очередностью их задействования. Таким образом, становится возможным формирование такого ПФМ сигнала, который позволяет получить отклик в любых наперед заданных точках пространства. При этом формирование сложного ПВС осуществляется передающей, а обработка – приемной АР. Одновременное задействование рассматриваемой пары АР позволяет трактовать их как устройство активной пространственно-временной фильтрации.

Сравним особенности представления и основные свойства сложного ПФМ сигнала с близким к нему аналогом – временным ФМ ПСП сигналом (табл., см. ниже).

Сложный ПФМ сигнал представляет собой совокупную последовательность радиоимпульсов, начальные и текущие фазы которых изменяются по случайному закону. Его комплексная огибающая, как и для ФМ ПСП сигналом может быть описана следующим образом [5]:

$$U(t) = \sum_{i=1}^{\infty} a_i s[\theta, t - (i - 1)\tau],$$

где  $a_i$  – амплитуда  $i$ -го импульса,  $s(\theta, t)$  – элементарный ПФМ радиоимпульс,  $\tau$  – его длительность. Кодовая последовательность представляет собой совокупность символов и может быть записана в виде:

$A = \text{sgn}\{a_i\}_1^\infty = \text{sgn}(a_1, a_2, \dots, a_\infty)$ , где  $\text{sgn}$  – функция, учитывающая знак.

ТАБЛИЦА. Сравнение ПФМ и ФМ ПСП сигналов

ФМ ПСП сигнал	Сложный ПФМ сигнал
Обычно фаза принимает ряд фиксированных значений, например, $[0, \pi]$ , т. е. $\Delta\varphi \in \{0, \pi\}$ .	Значение фазы – функция пространственных координат, геометрии АС и закона коммутации. Возможно получение последовательности радиоимпульсов с любым значением дискрета фазы $\Delta\varphi \in \{0, 2\pi\}$ .
База сигнала определяется зависимостью $B = 2\Delta FT = T/\tau = N$ , где $\Delta F = \Delta\Omega/2\pi$ – полоса частот, занимаемая сигналом: – равна числу импульсов в посылке сигнала $N$ ; – не зависит от пространственных координат.	База является функцией следующих переменных: $B = f(\theta, \tau, n)$ .
Требования к кодовой последовательности: – должна быть известной корреспондентам; – с целью снятия ограничений на сложность генератора ПСП и приемника её выбирают периодической; – должна обладать хорошими автокорреляционными свойствами, иметь равномерную спектральную плотность.	Закон коммутации АЭ выбирается без ограничений по перечисленным для ФМ ПСП требованиям за исключением обеспечения равномерности спектральной плотности и хороших взаимокорреляционных свойств, кодовой последовательности.

Спектр сложного ПФМ сигнала определяются спектром импульса  $s(\theta, t)$  и кодовой последовательности  $\text{sgn}\{a_i\}_1^\infty$ . При его отображении в Фурье-пространство он имеет следующий вид:

$$S(\theta, \omega) = \int_0^\tau s(\theta, t) \exp(-j\omega t) dt.$$

Рассмотрим прямоугольный радиоимпульс. С учетом пространственных координат его спектральная функция [6] примет следующее выражение:

$$\dot{S}(\theta, \omega) = \tau \frac{\sin(\omega\tau/2)}{\omega\tau/2} \exp\left(-\frac{j\omega\tau}{2}\right),$$

а комплексная огибающая, соответственно, имеет следующий вид:

$$\dot{S}_{\Sigma}(\theta, \omega) = \dot{S}(\theta, \omega) \cdot \sum_{i=1}^{\infty} a_i \exp[-j(i-1)\omega t],$$

где  $\sum_{i=1}^{\infty}(\cdot)$  – спектр кодовой последовательности  $H(\omega)$ .

Тогда спектр сложного ПФМ сигнала может быть записан как:

$$S_{\Sigma}(\theta, \omega) = S(\theta, \omega) \cdot H(\omega). \quad (1)$$

Данная зависимость отображается на рис.

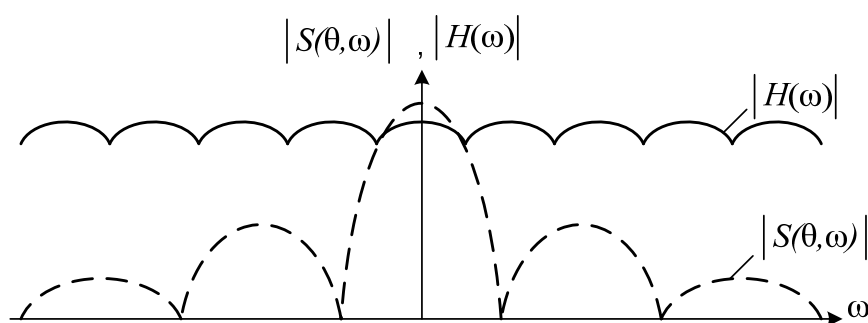


Рисунок. Вид огибающих спектра радиоимпульса  $S(\theta, \omega)$  и кодовой последовательности  $H(\omega)$

Представление (1) удобно тем, что в предположении факторизуемости его компонент представляется возможным вычисление спектров  $H(\omega)$  и  $S(\theta, \omega)$  по отдельности, но это справедливо только для стационарных каналов.

Важнейшей характеристикой сложного сигнала является его база. Для классических ШПС база определяется выражением  $B = 2\Delta FT$ . Для сложного ПФМ сигнала это выражение примет вид  $B' = B(\theta)$ . Заметим, что при  $\theta = \theta_0$  получим  $B' = B$ . Здесь  $B(\theta)$  – характеризует зависимость ширины спектра по пространственному параметру  $\theta$ .

Степень расширения спектра за счет ПФМ можно оценить путем определения эффективной ширины полосы занимаемой сигналом:

$$\Delta F_{\text{эфф}} = \int_0^{\infty} S^2(\theta, \omega) / S_{\text{max}}^2.$$

Количественно пространственную базу ПФМ сигнала можно определить из следующего соотношения:

$$B(\theta) \approx \frac{1}{\pi} [m_{\text{фм}}(\theta) + 1]N,$$

где  $m_{\text{фм}}$  – индекс фазовой модуляции.

Отсюда видно, что учет пространственных параметров ПФМ сигнала при прочих равных условиях дополнительно расширяет его базу по сравнению с классическими ШПС. Расширение ширины спектра в побочных направлениях является значимым для практических нужд связи. Применение данного метода при передаче и приеме позволяет в направлениях отличных от заданного добиваться принудительной паразитной ПФМ сигнала.

лов (помех). Следствием этого является снижение остроты проблемы ЭМС при передаче сигналов и повышении помехозащиты радиолиний на приемной стороне. Это справедливо для радиолиний с квазистационарными каналами, причем без задействования дополнительного ресурса пропускной способности.

Таким образом, высокоскоростная коммутация АЭ АР, приводит к формированию нового класса сложных ПФМ сигналов. Характерным для них является возможность получения свертки в любых наперед заданных точках пространства. Обработка сигналов данного класса относится к активным методам пространственно-временной фильтрации.

#### Список используемых источников

1. Коновалов Л. М., Никитченко В. В. Повышение помехоустойчивости линий многоканальной радиосвязи методами диаграммной модуляции. Л.: ВАС, 1988. 124 с.
2. Коновалов Л. М., Долматов А. В., Дормидонтов А. В. и др. Система связи с использованием широкополосных пространственно-временных сигналов. Пат. 2013013 Российская Федерация, заявитель и правообладатель Военная академия связи. – № 5015956/09; заявл. 20.07.91; опубл. 15.05.94.
3. Пространственно-временная обработка сигналов / под ред. И. Я. Кремера. М.: Радио и связь, 1984. 224 с.
4. Коновалов Л. М. Сложный пространственно-временной сигнал и его свойства // Электросвязь. 1996. № 5. С. 38–39.
5. Варакин Л. Е. Системы связи с шумоподобными сигналами. М.: Радио и связь, 1985. 384 с.
6. Харкевич А. А. Спектры и анализ. М.: Госиздат. физ.-мат. лит, 1962. 236 с.

УДК 654.16

## ИССЛЕДОВАНИЕ ZС-ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ В СЕТЯХ NB-ИОТ LTE

**В. О. Лазарев, А. Е. Рыжков**

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

*Обладающие уникальными свойствами ZС-последовательности нашли широкое применение для формирования специальных сигналов в стандарте LTE. В появившихся в 2016 г. спецификациях узкополосного варианта (с полосой радиоканала 200 кГц) стандарта E-UTRA (LTE) для сетей беспроводного интернета вещей также используют ZС-последовательности для формирования сигналов синхронизации, запросов на доступ к сети и опорных сигналов демодуляции. Рассмотрены новые структуры сигналов NPSS, NSSS и преамбул NPRACH, приведены примеры их реализации. Исследованы корреляционные свойства сигналов стандарта NB-ИОТ LTE.*



*NPSS, NSSS, NPRACH, NB-IoT, LTE, ZC-последовательности, синхронизация, корреляция.*

В 13-ом релизе стандарта E-UTRA, 3GPP специфицировали несколько новых радиointерфейсов, одним из которых является узкополосный NB-IoT для Интернета вещей, оптимизированный для трафика типа M2M [1]. Помимо простоты реализации, позволяющей уменьшить цены на устройства и потребление энергии батареи, NB-IoT адаптирован для работы в сложных условиях радиоэффира, что является частой ситуацией для большого числа устройств с типом коммуникаций M2M.

В NB-IoT, как и в LTE, нашли применение последовательности Zadoff-Chu или ZC-последовательности, которые используют для формирования синхронизирующих сигналов NPSS и NSSS. Несмотря на сохранившееся назначения сигналов синхронизации и сигналов запроса на доступ к сети (RACH), механизм генерации этих последовательностей отличается от подобных сигналов в LTE и требует более детального рассмотрения.

В данной работе рассмотрены структуры сигналов синхронизации NPSS и NSSS, сигналы преамбул запроса на доступ к сети NPRACH, приведены примеры их реализации, их корреляционные свойства и произведен сравнительный анализ этих сигналов с аналогичными сигналами стандарта LTE: сигналами синхронизации PSS и SSS и преамбулами запроса на доступ к сети PRACH.

В NB-IoT в канале вниз, каждый OFDM символ состоит из 12-ти поднесущих, образуя суммарную полосу 180 кГц. Семь OFDMA символов объединены в слот, как показано на рис. 1а.

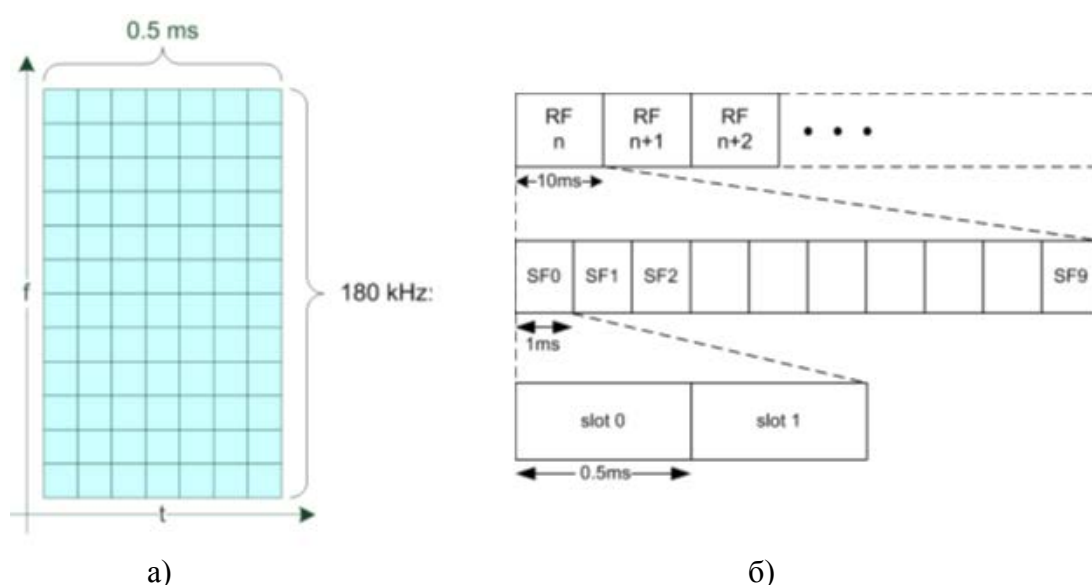


Рис. 1. Структура: а) распределение ресурсов одного слота; б) структура кадра NB-IoT в канале вниз и вверх для частотного интервала 15 кГц

Такая сетка ресурсов не отличается от сетки одного ресурсного блока с нормальным префиксом в LTE. Структура кадра при этом выглядит как на рис. 1б, а число поднесущих, в зависимости от расстояния между ними, равно либо 12, либо 48.

Для первичной синхронизации кадра и субкадра и определения идентификатора соты  $N_{ID}^{cell}$ , использована схема первичной и вторичной синхронизации LTE с сигналами PSS и SSS. Для того, чтобы отличить эти сигналы от аналогичных в LTE, их обозначают как NPSS и NSSS, соответственно.

Узкополосный сигнал первичной синхронизации NPSS (*Narrowband primary synchronization signal*), как и сигнал PSS в LTE, генерируется как ZC-последовательность по следующей формуле:

$$d_l(n) = S(l) \cdot e^{-j\frac{\pi u n(n+1)}{11}}, \quad n = 0, 1, \dots, 10,$$

где индекс корневой ZC-последовательности  $u = 5$  и  $S(l) = 1$  или  $-1$ .

Последовательность NPSS фиксирована и, к тому же, в отличие от сигнала PSS в LTE, не несет в себе никакой информации о соте. Эта последовательность передается в пятом субкадре каждого радиокadra, поэтому получение сигнала NPSS позволяет UE определить рамки кадра.

Промоделированные сигналы NPSS с коэффициентами  $S(l) = 1$  и  $S(l) = -1$  приведены на рис. 2а. Как видно из рис. 2, структура сигналов первичной синхронизации по сравнению с аналогичным в LTE заметно упрощена. Автокорреляционная функция сигнала NPSS  $d_3(n)$  приведена на рис. 2б и из него видно, что, несмотря на упрощенную структуру нового сигнала, он обладает необходимыми корреляционными свойствами.

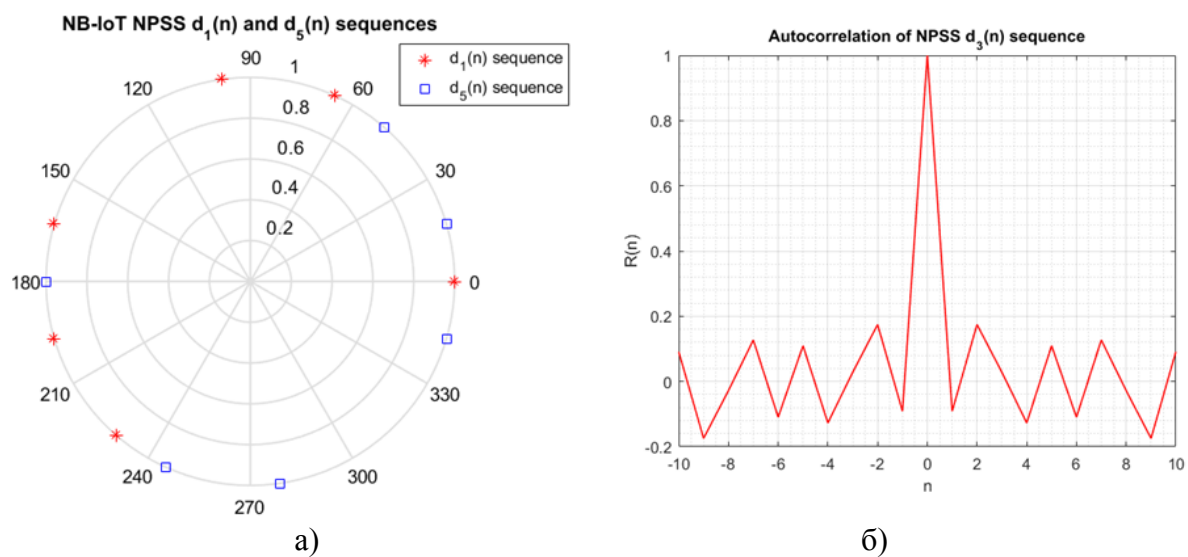


Рис. 2. Пример моделирования: а) последовательности NPSS при  $S(l) = 1$  и  $S(l) = -1$ ; б) автокорреляционная функция сигнала NPSS

В отличие от своего аналога в LTE, узкополосный сигнал вторичной синхронизации NSSS (*Narrowband secondary synchronization signal*) сгенерирован не как последовательность Голда, а как ZC-последовательность длины 131, скремблированная и циклически сдвинутая в зависимости от номера радиокadra. При этом  $N_{ID}^{cell}$  является дополнительным входным параметром, который впоследствии может быть выделен из последовательности.

Последовательность  $d(n)$  сигнала NSSS формируется как ZC-последовательность по следующей формуле:

$$d(n) = b_q(m) e^{-j2\pi\theta_f n} e^{-j\frac{\pi u n'(n'+1)}{131}},$$

где

$$\begin{aligned} n &= 0, 1, \dots, 131 \\ n' &= n \bmod 131 \\ m &= n \bmod 128 \\ u &= N_{ID}^{Cell} \bmod 126 + 3 \\ q &= \left\lfloor \frac{N_{ID}^{Cell}}{126} \right\rfloor. \end{aligned}$$

Как и в LTE, в NB-IoT определены 504 идентификатора соты. Сами сигналы NSSS передают в последнем субкадре каждого четного радиокadra. Пример смоделированной последовательности NSSS приведен на рис. 3а. Автокорреляционная функция данной последовательности и кросскорреляционная функция двух различных NSSS последовательностей приведены на рис. 3б. Как видно из рис. 3, сигналы NSSS также обладают необходимыми корреляционными свойствами, как и их аналог в LTE.

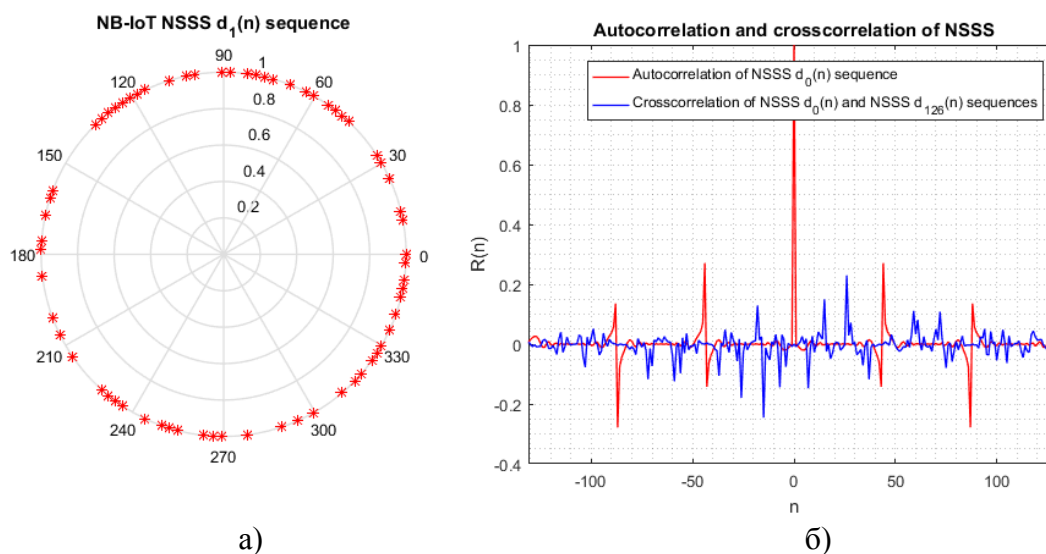


Рис. 3. Пример моделирования: а) последовательность NSSS при  $q = 0$ ,  $u = 3$ , б) автокорреляционная и кросскорреляционная функция двух различных последовательностей NSSS

Используя приведенные выше конструкции сигналов NPSS и NSSS, UE не сможет спутать сигналы синхронизации NB с аналогичными в системах LTE.

В канале запроса на доступ к сети (NPRACH, *Narrowband Preamble Random Access Channel*) передают преамбулы, построенные на основе групп символов, формируемых на одной поднесущей. У каждой символьной группы есть свой циклический префикс CP, за которым следуют 5 символов.

В отличие от PRACH, в NB-IoT определены всего два формата преамбул, отличающихся длиной циклического префикса: пять символов имеют длину  $T_{SEQ} = 1,333$  мс, с циклическим префиксом  $T_{CP} = 67$  мкс для формата 0, и 267 мкс для формата 1, дающие в сумме длину в 1,4 мс и 1,6 мс соответственно.

Преамбула строится из четырех передаваемых подряд символьных групп, при этом, используя скачки по частоте, каждую символьную группу передают на разных поднесущих. Сами скачки могут совершаться только в пределах смежных групп, состоящих из 12-ти поднесущих ( $N_{sc}^{RA} = 12$ ) [2]. В зависимости от уровня покрытия, сота может дать указание UE повторно передавать преамбулы 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64 или 128 раз, используя одинаковую мощность передачи при каждом повторе.

Расстояние между поднесущими составляет 3,75 кГц. Ресурс NPRACH может занимать смежную полосу из 12, 24, 36 или 48-ми поднесущих и располагается в дискретном наборе диапазонов поднесущих. На рис. 4 показан пример повторно передающейся преамбулы. Каждый прямоугольник обозначает одну символьную группу, а сама повторяющаяся преамбула состоит из четырех таких прямоугольников.

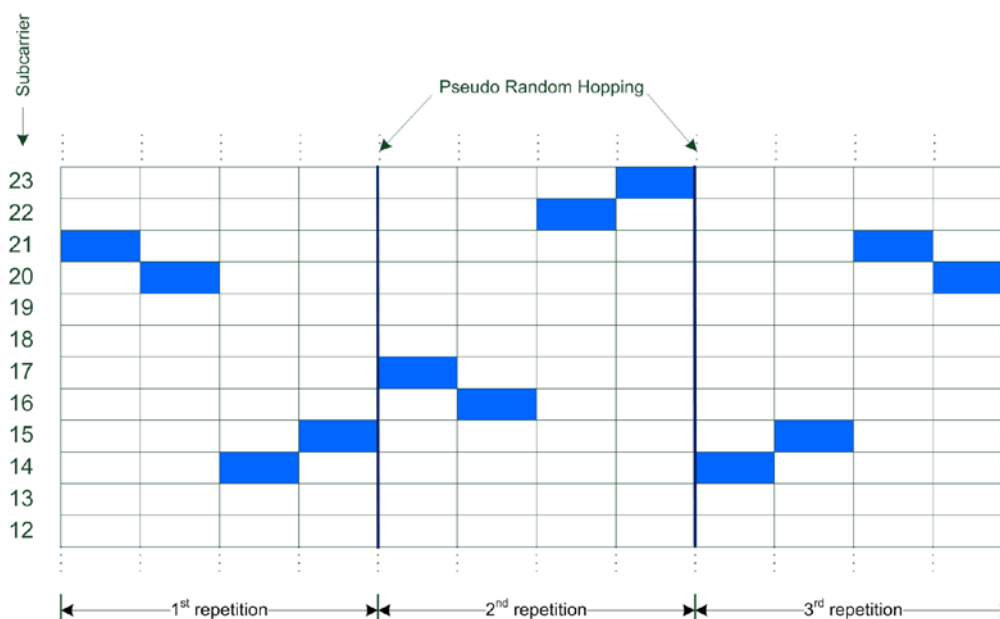


Рис. 4. Последовательность преамбулы в диапазоне частот между 12 и 23 поднесущими

UE выбирает одну поднесущую из 12-ти возможных для передачи первой символьной группы, если от eNB не было указаний на выбор определенной группы для передачи преамбулы. Следующие три символьные группы определены алгоритмом на основе последовательностей Голда, который задается только начальным положением первой символьной группы  $p_{sc}^{RA}$  [3]. Для выбора поднесущей первой символьной группы следующего повтора преамбулы используются псевдослучайные скачки по частоте, для которых  $N_{ID}^{N_{cell}}$  и номер повтора служат в качестве входных данных. Данный алгоритм скачков по частоте спроектирован таким образом, что различный выбор первой поднесущей приводит к непересекающейся схеме скачков.

#### Список используемых источников

1. 1MA266: Narrowband Internet of Things // Rohde & Schwarz. URL: [https://cdn.rohde-schwarz.com/pws/dl\\_downloads/dl\\_application/application\\_notes/1ma266/1MA266\\_0e\\_NB\\_IoT.pdf](https://cdn.rohde-schwarz.com/pws/dl_downloads/dl_application/application_notes/1ma266/1MA266_0e_NB_IoT.pdf) (дата обращения 26.03.17).
2. TS 36.213. Physical layer procedures (Release 14) // 3GPP. URL: [http://www.3gpp.org/ftp//Specs/archive/36\\_series/36.213/36213-e20.zip](http://www.3gpp.org/ftp//Specs/archive/36_series/36.213/36213-e20.zip). (дата обращения 26.03.17).
3. TS 36.211. Physical channels and modulation (Release 14) // 3GPP. URL: [http://www.3gpp.org/ftp//Specs/archive/36\\_series/36.211/36211-e20.zip](http://www.3gpp.org/ftp//Specs/archive/36_series/36.211/36211-e20.zip). (дата обращения 26.03.17).

УДК 621. 376

## ОЦЕНКА ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ МНОГОПОЗИЦИОННЫХ СИГНАЛОВ В КАНАЛЕ С РАЗЛИЧНЫМИ ЗАМИРАНИЯМИ И РАЗНЕСЕННЫМ ПРИЕМОМ

Е. В. Лебеда<sup>1</sup>, М. А. Остроумов<sup>2</sup>, О. А. Остроумов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Военная академия связи имени Маршала Советского союза С. М. Буденного

<sup>2</sup>Войсковая часть 40273

*Статья посвящена использованию различных методов разнесенного приема многопозиционных сигналов в каналах радиосвязи с замираниями. Представлены полученные выражения, позволяющие производить расчет вероятности ошибки в каналах радиосвязи при приеме сигналов квадратурной амплитудной модуляций различной позиционности и различных методах разнесенного приема.*

*замирания, разнесенный прием, вероятность ошибки, многопозиционные сигналы.*

В современной связи использование различных методов разнесенного приема нашло широкое применение. Традиционно разнесенный прием используют для повышения помехоустойчивости системы связи и борьбы с различными замираниями, характерными для каналов радиосвязи. Кроме этого существенное влияние на качество связи, надежность и устойчивость системы связи оказывают различные помехи. Существует много способов защиты от помех [1, 2, 3]: предотвращение перегрузки приемников; компенсация радиопомех; различного рода селекцией сигналов; адаптацией; перестройкой радиочастоты; использование шумоподобных сигналов и т. д.

Хотя разнесенный прием позволяет бороться с замираниями, он также эффективен против помех, присутствующих в каналах радиосвязи [1, 2]. Если в канале связи замирания сигнала отсутствуют, помехоустойчивость при разнесенном приеме определяется степенью корреляции помехи в отдельных ветвях разнесения, также возникает дополнительная возможность повышения помехоустойчивости за счет слабой корреляции сигнала в отдельных ветвях разнесения [4, 5, 6].

При разнесенном приеме сигналов обеспечивается прием одной и той же информации по нескольким параллельным каналам (линиям) связи, которые называют ветвями разнесения. Как правило, на практике используют следующие шесть методов разнесенного приема: по пространству, по времени и частоте, по углу прихода лучей, по поляризации и по отдельным лучам при многолучевом распространении.

Наибольший энергетический выигрыш получают от использования пространственного (по углу прихода лучей или поляризационного) разнесенного приема. Проведенные исследования [4, 5] показали, что при переходе от одиночного к сдвоенному приему имеется выигрыш почти в два раза, а с увеличением количества ветвей выигрыш имеется, но не такой значительный. На практике, кроме пространственного широкого применения нашли частотное и временное разнесение. Данные методы разнесения также дают определенный энергетический выигрыш при увеличении количества ветвей разнесения (хотя и меньший, чем при пространственном разнесении), но в этом случае при неизменной скорости и мощности передатчика длительность элемента уменьшается в  $L$  раз (где  $L$  – количество ветвей разнесения).

Выбор количества ветвей разнесения может определяться по различным критериям: минимальной стоимости, максимальной помехоустойчивости или помехозащищенности и т. д. В данной работе критерием выбора числа ветвей является минимум средней вероятности битовой ошибки:  $\arg \min_L P_b(L, \gamma_{bc}^*)$ , где вероятность ошибки в общем случае зависит от отношения сигнал/шум и от параметров, характеризующих замирания [4].

Так же использование в современной технике связи многопозиционных сигналов ФМ и переход на работу перспективными сигналами КАМ приводит к увеличению скорости передачи информации, однако при увеличении позиционности данных сигналов количества ошибок при сохранении схемы демодуляции и декодирования также увеличивается, что создает проблемы при использовании данных сигналов в каналах с низкой помехоустойчивостью (каналах с замираниями). Кроме этого качество радиосвязи зависит от условий распространения радиоволн и интенсивности воздействия помех различной природы, что так же ведет к ухудшению помехоустойчивости.

В связи с этим исследование различных видов разнесенного приема многопозиционных сигналов с целью повышения помехоустойчивости приема многопозиционных сигналов в линиях радиосвязи в условиях замираний и помех является перспективным и актуальным.

Как известно [1, 7], для сигналов КАМ- $M$  при  $M = 2^K$  средняя вероятность битовой ошибки рассчитывается по формуле:

$$P_b = \frac{1}{K} \sum_{j=1}^{\sqrt{M}-1} a_{2j-1} Q(\sqrt{2g_{2j-1}\gamma_{bc}}),$$

где  $P_b = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K P_{bi}$  – средняя вероятность битовой ошибки,  $K = \log_2 M$ ;

$Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^{\infty} e^{-\frac{t^2}{2}} dt$  – функция Гаусса; например, при  $M \leq 64$

$$a_1 = 4\left(1 - \frac{1}{\sqrt{M}}\right); \quad a_3 = 4\left(1 - \frac{2}{\sqrt{M}}\right); \quad a_5 = -\frac{4}{\sqrt{M}}; \quad a_7 = 0; \quad a_9 = 4\left(\frac{1}{2} - \frac{3}{\sqrt{M}}\right);$$

$$a_{11} = 4\left(\frac{1}{2} - \frac{4}{\sqrt{M}}\right); \quad a_{13} = -4\left(\frac{1}{2} - \frac{3}{\sqrt{M}}\right); \quad a_{15} = -4\left(\frac{1}{2} - \frac{4}{\sqrt{M}}\right);$$

$g_{2j-1} = (2j-1)^2 \frac{3K}{2(M-1)}$  – параметр, определяемый сигнальной конструкцией.

При наличии в канале связи замираний Райса-Накагами, используя свойства  $Q$ -функции Гаусса и функции Оуэна [7], можно получить выражение для расчета вероятности битовой ошибки в условиях АБГШ и замираний Райса-Накагами:

$$P_b = \frac{2}{K} \sum_{j=1}^{\sqrt{M}-1} a_{2j-1} H_p \left( \sqrt{\frac{2g_{2j-1}\gamma_{bc}k^2}{g_{2j-1}\gamma_{bc} + m + k^2}}, \sqrt{\frac{g_{2j-1}\gamma_{bc}}{g_{2j-1}\gamma_{bc} + m + k^2}}, \infty \right), \quad (1)$$

где  $H_\nu(z, b, \eta) = \frac{(1-b^2)^\nu}{2\pi} \int_0^{\arctg \eta} \frac{\cos^{2\nu} t}{(1-(1-b^2)\sin^2 t)^\nu} e^{-\frac{z^2}{2} \frac{1}{1-(1-b^2)\sin^2 t}} dt$  – специаль-

ная интегральная функция  $H$ ;  $\nu \geq 0$ ,  $0 \leq b^2 \leq 1$ ,  $\eta \geq 0$ ;  $k^2 \geq 0$  – коэффициент, который характеризует глубину замираний (при  $k^2 \rightarrow \infty$  канал без замираний),  $m$  – коэффициент, характеризующий глубину замираний Накагами.

С учетом методики, представленной в [1, 4] и выражения (1) для разнесенного приема на  $L$  ветвей выражение для расчета вероятности средней битовой ошибки в условиях АБГШ и замираний Райса-Накагами примет вид:

$$P_b = \frac{2}{K} \sum_{j=1}^{\sqrt{M}-1} a_{2j-1} H_L \left( \sqrt{L} \sqrt{\frac{2g_{2j-1}\gamma_{bc}k^2}{g_{2j-1}\gamma_{bc} + L^\lambda(1+k^2)}}, \sqrt{\frac{g_{2j-1}\gamma_{bc}}{g_{2j-1}\gamma_{bc} + L^\lambda(1+k^2)}}, \infty \right).$$

где число ветвей разнесения  $L \geq 1$ ; в каждой ветви разнесения отношения сигнал/шум есть величина  $\gamma_l = E_l/N_l$ ,  $l = \overline{1, L}$ ; для разнесенного приема справедливо соотношение  $\gamma_L^* = \gamma_0/L^\lambda$ , где  $\gamma_0$  – среднее отношение сигнал/шум в одной отдельной ветви разнесения и  $\lambda \in [0, 2]$  – коэффициент эффективности использования мощности передатчика при разнесенном приеме [5, 6].

На рис. 1 и 2 показаны зависимости вероятности средней битовой ошибки от отношения сигнал/шум при пространственном разнесенном приеме сигнала КАМ-16 при релейских и райсовских замираниях.

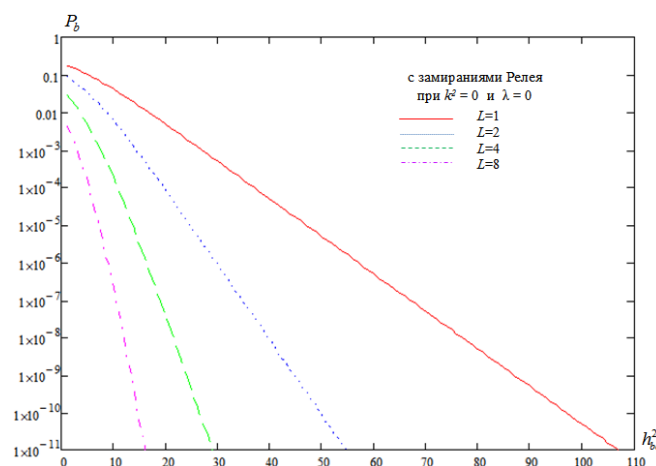


Рис. 1. Зависимость вероятности средней битовой ошибки от отношения сигнал/шум при пространственном разнесенном приеме сигнала КАМ-16 и релейских замираниях

### Вывод

Использованием различных методов разнесенного приема позволяет существенно повысить помехоустойчивость приема сигналов, что важно для систем связи, в которых используются многопозиционные сигналы,



так как с увеличением позиционности и скорости передачи информации помехоустойчивость уменьшается. Кроме этого, полученные выражения позволяют производить расчет вероятности ошибки в канале радиосвязи с различными типами замираний при приеме многопозиционных сигналов разной позиционности во всем диапазоне отношения сигнал/шум.

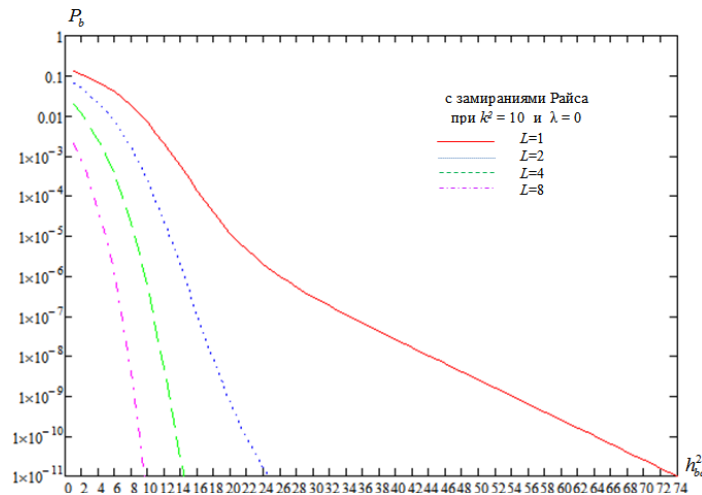


Рис. 2. Зависимость вероятности средней битовой ошибки от отношения сигнал/шум при пространственном разнесенном приеме сигнала КАМ-16 и райсовских замираниях

#### Список используемых источников

1. Остроумов О. А., Савищенко Н. В. Расчет оптимального и рационального числа ветвей разнесения в каналах связи с аддитивным белым гауссовым шумом и общими замираниями Райса-Накагами // Информационно-управляющие системы. 2016. № 6 (79). С. 71–80.
2. Игнатов В. В., Сахнин А. А. Развед- и помехозащищённость систем и средств военной связи. СПб.: ВУС, 2001. 212 с.
3. Филимонов В. А., Грецев В. П., Остроумов О. А., Давыдов А. В. Оценка помехоустойчивости системы связи от ошибок частотной и временной синхронизации // Вопросы радиоэлектроники. Серия: Техника телевидения. 2015. № 1. С. 25–32.
4. Остроумов О. А., Савищенко Н. В. Оценка помехоустойчивости каналов связи с замираниями и разнесенным приемом // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании: материалы V Международной научно-технической и научно-методической конференции: сб. науч. ст. в 3 т.; Т. 1. СПб.: СПбГУТ, 2016. С. 503–507.
5. Андронов И. С., Финк Л. М. Передача дискретных сообщений по параллельным каналам. М.: Сов. радио, 1971. 408 с.
6. Кловский Д. Д. Передача дискретных сообщений по радиоканалам. М.: Радио и связь, 1982. 362 с.
7. Савищенко Н. В. Специальные интегральные функции, применяемые в теории связи: монография. СПб.: Военная академия связи, 2012. 560 с.

УДК 621.396.949

## ВЛИЯНИЕ МЕГАПОЛИСА НА ОСЛАБЛЕНИЕ УРОВНЕЙ ПОЛЯ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ

А. Н. Ликонцев<sup>1</sup>, А. Ш. Шахобиддинов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

<sup>2</sup>Ташкентский университет информационных технологий

*В статье приводятся выражения для расчета ослабления напряженности поля в мегаполисе для различных условий приема на примере столицы Узбекистана – Ташкенте в диапазонах 900 и 1800 МГц. Установлено, что отражение электромагнитных волн от кирпичных стен, изготовленных из местных материалов, гораздо меньше, а проникновение волн сквозь эти стены гораздо значительнее, чем в кирпичных стенах из зарубежных материалов.*

*ослабление, напряженность поля, город, базовые станции мобильной связи, диапазоны 900 и 1800 МГц.*

В настоящее время в Узбекистане наблюдается стремительный рост числа базовых станций мобильной связи (БСМС), излучение электромагнитных полей которых оказывает значительное влияние на электромагнитную обстановку в районах их расположения.

Для оптимального размещения БСМС необходимо знание закономерностей ослабления уровней электромагнитного поля, которые определяются архитектурой городской застройки. Так, в Ташкенте наблюдается своя специфическая архитектура, обусловленная национальными традициями и использованием солнцезащитных элементов.

Величина потерь  $L$  определяется в дБ разностью уровня напряженности поля  $E_0$  в свободном пространстве и уровнем напряженности поля  $E$ , полученным в ходе эксперимента или расчета.

В результате анализа применимости моделей расчета, к дальнейшему использованию выбрана модель «Окамура-Хата» для расчета потерь передачи  $L$  (дБ) в городской местности (модель рекомендован МСЭ) для высот подвеса передающих антенн  $h_b = 30 \dots 200$  м, высот подвеса приемных антенн  $h_m = 1 \dots 10$  м и расстояний  $r = 1 \dots 20$  км. Выражение основано на упрощенной модели «Окамура-Хата» для «среднего города» [1]:

$$L = 68,75 - 13,82 \lg h_b + 27,72 \lg f - [1,1 \lg f - 0,7] h_m + [44,9 - 6,55 \lg h_b] \lg r,$$

где величины  $f$  в МГц, а  $r$  в км.

Однако, такая запись на самом деле не совсем корректна, поскольку, берутся логарифмы чисел, имеющих размерность. В связи с этим, данную формулу предлагается записать в следующем виде:

$$L = 68,75 - 13,82 \lg(h_b/h_0) + 81,89 \lg(f/f_0) - [4,88 \lg(f/f_0) - 0,7](h_m/h_0) + \\ + [44,9 - 6,55 \lg(h_b/h_0)] \lg(r/r_0),$$

где  $h_0$  – единичная высота, равная 1 м;  $f_0$  – единичная частота, равная 1 МГц;  $r_0$  – единичное расстояние, равное 1 км.

Перед началом измерений районы города, где планировалось проводить измерения, были условно разбиты на районы с большой плотностью застройки (многоэтажные здания), районы с малой плотностью застройки (одно- и двухэтажные здания, пригород), радиальные и поперечные трассы (по отношению к антенне одной из базовых станций мобильной связи). Трассы измерений выбирались таким образом, чтобы условия распространения радиоволн на них были приблизительно одинаковыми.

Для проведения исследований был использован мобильный измерительный комплекс фирмы Rohde & Schwarz.

Для научных исследований вполне достаточно значения доверительной вероятности  $\beta = 0,95$ . Значения напряженности поля не попадающие в доверительный интервал были отброшены при обработке данных измерений.

В результате обработки экспериментальных данных были получены модернизированные выражения для диапазона 900 МГц модели «Окамура-Хата» для г. Ташкента [2, 3, 4, 5]:

– для районов города со средней плотностью застройки:

$$L = -27,55 - 13,82 \lg(h_b/h_0) + 27,72 \lg(f/f_0) - [1,1 \lg(f/f_0) - -0,7](h_m/h_0) + \\ + [31,9 - 6,55 \lg(h_b/h_0)] \cdot \lg(r/r_0),$$

– для районов города с малой плотностью застройки:

$$L = -32,17 - 13,82 \lg(h_b/h_0) + 27,72 \lg(f/f_0) - [1,1 \lg(f/f_0) - -0,7](h_m/h_0) + \\ + [25 - 6,55 \lg(h_b/h_0)] \cdot \lg(r/r_0),$$

– для широких радиальных улиц:

$$L = -29,55 - 13,82 \lg(h_b/h_0) + 27,72 \lg(f/f_0) - [1,1 \lg(f/f_0) - -0,7](h_m/h_0) + \\ + [27 - 6,55 \lg(h_b/h_0)] \cdot \lg(r/r_0),$$

– для широких поперечных улиц:

$$L = -27,41 - 13,82 \lg(h_b/h_0) + 27,72 \lg(f/f_0) - [1,1 \lg(f/f_0) - -0,7](h_m/h_0) + \\ + [37 - 6,55 \lg(h_b/h_0)] \cdot \lg(r/r_0).$$

В материалах работы [6] было предложено введение коэффициента, учитывающего холмистость местности в модели «Окамура-Хата», так как они предназначены для расчёта ослабления уровней поля над квазигладкой поверхностью земли. Поправочный коэффициент учитывающий холмистость местности имеет вид:

$$K_x = A \cdot \Delta h, \text{ дБ},$$

где  $A$  – эмпирический коэффициент, равный 0,2 дБ/м для холмистой местности в пределах высот неровности  $\Delta h = 20 \dots 40$  м и 0,225 дБ/м в пределах высот неровности  $\Delta h = 40 \dots 80$  м.

Помимо знания распределения уровней поля в городских условиях с различными видами застройки: районы со средней плотностью застройки; районы с малой плотностью застройки; широкие радиальные улицы; широкие поперечные улицы, необходимо также знать, какое ослабление будут вносить одиночно стоящие высотные здания. Для этих целей, было проведено дополнительное исследование, которое заключалось в определении уровня поля перед зданиями и за зданиями.

В результате обработки данных измерений установлено, что одиночно стоящие высотные здания, вносят дополнительное ослабление порядка 15...25 дБ. В ряде случаев наблюдалось явление «усиление клиновидным препятствием».

Величину потерь, вносимое одиночно стоящим зданием можно учесть введением в модернизированную модель «Окамура-Хата» коэффициента  $L_{вз}$  [7]. Данный коэффициент наиболее применим для районов с малой плотностью застройки.

С учетом коэффициентов, учитывающих ослабление, вносимое отдельными высотными зданиями и холмистость местности, модернизированные модели «Окамура-Хата» приобретают следующий вид [8]:

– для районов города со средней плотностью застройки:

$$L = -27,55 - 13,82 \lg(h_b/h_0) + 27,72 \lg(f/f_0) - [1,1 \lg(f/f_0) - 0,7](h_m/h_0) + [31,9 - 6,55 \lg(h_b/h_0)] \cdot \lg(r/r_0) + L_{вз} + K_x,$$

– для районов города с малой плотностью застройки:

$$L = -32,17 - 13,82 \lg(h_b/h_0) + 27,72 \lg(f/f_0) - [1,1 \lg(f/f_0) - 0,7](h_m/h_0) + [25 - 6,55 \lg(h_b/h_0)] \cdot \lg(r/r_0) + L_{вз} + K_x,$$

– для широких радиальных улиц:

$$L = -29,55 - 13,82 \lg(h_b/h_0) + 27,72 \lg(f/f_0) - [1,1 \lg(f/f_0) - 0,7](h_m/h_0) + [27 - 6,55 \lg(h_b/h_0)] \cdot \lg(r/r_0) + K_x,$$

– для широких поперечных улиц:

$$L = -27,41 - 13,82 \lg(h_b/h_0) + 27,72 \lg(f/f_0) - [1,1 \lg(f/f_0) - 0,7](h_m/h_0) + [37 - 6,55 \lg(h_b/h_0)] \cdot \lg(r/r_0) + L_{вз} + K_x.$$

Все эти выражения справедливы для диапазона 900 МГц.

Интересно заметить, что величина поправки для выражений COST 231-Nata [2] для «среднего» города, рекомендованное МСЭ в диапазоне частот

1500...2000 МГц, составляет  $\Delta L = 10,1$  дБ. Следовательно, величина потерь в «среднем» городе на частоте 1800 МГц будет в среднем на 10,1 дБ больше, чем на частоте 900 МГц.

С учетом коэффициентов, учитывающих ослабление, вносимое отдельными высотными зданиями и холмистость местности, модернизированные модели «Окамура-Хата» для диапазона 1800 МГц приобретают следующий вид:

– для районов города со средней плотностью застройки:

$$L = -17,45 - 13,82 \lg(h_b/h_0) + 27,72 \lg(f/f_0) - [1,1 \lg(f/f_0) - 0,7](h_m/h_0) + \\ + [31,9 - 6,55 \lg(h_b/h_0)] \cdot \lg(r/r_0) + L_{вз} + K_x,$$

– для районов города с малой плотностью застройки:

$$L = -22,07 - 13,82 \lg(h_b/h_0) + 27,72 \lg(f/f_0) - [1,1 \lg(f/f_0) - 0,7](h_m/h_0) + \\ + [25 - 6,55 \lg(h_b/h_0)] \cdot \lg(r/r_0) + L_{вз} + K_x,$$

– для широких радиальных улиц:

$$L = -19,45 - 13,82 \lg(h_b/h_0) + 27,72 \lg(f/f_0) - [1,1 \lg(f/f_0) - 0,7](h_m/h_0) + \\ + [27 - 6,55 \lg(h_b/h_0)] \cdot \lg(r/r_0) + K_x,$$

– для широких поперечных улиц:

$$L = -17,31 - 13,82 \lg(h_b/h_0) + 27,72 \lg(f/f_0) - [1,1 \lg(f/f_0) - 0,7](h_m/h_0) + \\ + [37 - 6,55 \lg(h_b/h_0)] \cdot \lg(r/r_0) + L_{вз} + K_x.$$

Все эти выражения справедливы для расстояний до 5 км.

Использование полученных выражений позволит улучшить электромагнитную обстановку при оптимальном размещении базовых станций мобильной связи.

#### Список используемых источников

1. Nata M. Empirical formula for propagation loss in land mobile radio services // IEEE Transactions on Vehicular Technology. 1980. № 29. PP. 27–35.
2. Шахобиддинов А. Ш., Нигманов А. А. Эмпирические модели распространения радиоволн в городских условиях // Инфокоммуникации: Сети – Технологии – Решения. 2007. № 1. С. 23–32.
3. Ликонцев Д. Н., Шахобиддинов А. Ш. Экспериментальное исследование распределения уровней напряженности поля диапазона 900 МГц // Вестник ТУИТ. 2009. № 4. С. 56–60.
4. Шахобиддинов А. Ш., Ликонцев Д. Н. Модели расчета уровней напряженности поля диапазона 900 МГц в условиях г. Ташкента // Инокоммуникационные технологии в науке и образовании: материалы респуб. науч. тех. конф., Ташкент, 25–26 марта 2010 г. Т.: Фан, 2010. С. 79–83.
5. Шахобиддинов А. Ш., Ликонцев Д. Н. Модели распределения уровней поля базовых станций сотовой связи диапазона 900 МГц в г. Ташкенте // The 4-th International conference on APPLICATION of INFORMATION and COMMUNICATION

TECHNOLOGIES: материалы международной науч. техн. конф., Ташкент, 12–14 октября 2010 г. Т.: Фан, 2010. С. 245–246.

6. Ликонцев Д. Н., Шахобиддинов А. Ш., Нигманов А. А. Учет холмистости местности в моделях «Окамура-Хата» // Инфокоммуникации: Сети – Технологии – Решения, 2008. № 1. С. 23–24.

7. Ликонцев Д. Н., Шахобиддинов А. Ш. Исследование влияния отдельных высотных зданий на ослабление уровней поля диапазона 900 МГц и электродинамических характеристик кирпичных стен // Инфокоммуникации: Сети – Технологии – Решения. 2011. № 2. С. 21–23.

УДК 621.396.676

## РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ МИНИАТЮРИЗАЦИИ КОРАБЕЛЬНОЙ ДВ-СВ АНТЕННЫ

**А. С. Ломакова, С. В. Русин, Ю. В. Савенкова, В. В. Шевченко**

ПАО «Информационные телекоммуникационные технологии»

*Среди проблем создания малых авианесущих кораблей проблема размещения антенны приводной радиостанции ДВ-СВ диапазона пока не находит своего рационального решения. Источник существующей проблемы – расточительное расходование частотного ресурса радионавигационной системой. Для передачи навигационного сигнала используется полоса в 133 раза превышающая полосу необходимую для его неискаженной передачи, что приводит к двум взаимоисключающим требованиям к малогабаритной антенне: широкополосное согласование с передатчиком и обеспечение достаточного отношения сигнал/шум в точке приёма. Ограничив полосу равной полосе неискаженной передачи сигнала, можно решить проблему миниатюризации корабельной ДВ-СВ антенны [1]. В настоящей статье предложена конструкция, а также результаты расчета характеристик и эффективности малогабаритной антенны электрического типа для приводной радиостанции.*

*габариты, добротность, КПД, полоса пропускания.*

Для обеспечения самолётов и вертолётов информацией, необходимой для захода на посадку аэродромы оборудованы радиомаячной системой посадки, которая включает в себя: приводные и маркерные радиомаяки, а также курсовой, глиссадный, азимутальный, дальномерный, доплеровский радиомаяки. Для приёма навигационных сигналов на борту самолётов и вертолётов имеются соответствующие радиоконпасы.

Для обеспечения безопасности полётов палубной авиации особое значение имеет радионавигационный комплекс, состоящий из дальнего приводного маяка (ДПРМ) и автоматического радиоконпаса (АРК).

В состав ДПРМ входит приводная радиостанция ДВ-СВ диапазона (190...1750 кГц) мощностью от 400 Вт до 4 кВт и передающая антенна. Дальность действия ДПРМ должна составлять не менее 150 км на высоте полёта воздушного судна 1 км [2].

Приводная радиостанция обеспечивает круглосуточную непрерывную передачу на выделенной радиоволне в классе излучения А2А стандартного опознавательного символа в виде кода Морзе [3].

По сигналу ДПРМ пилот на слух идентифицирует сигнал аэродрома посадки, а бортовой АРК указывает направление на аэродром. Отношение сигнал/шум (ОСШ) на входе приёмника АРК должно составлять: 0...2 дБ – для идентификации сигнала на слух и не менее 10 дБ – для автоматического указания направления на аэродром посадки.

Наибольшая скорость телеграфирования (В) составляет 5 бод, она достигается при последовательной передаче «точек» в знаках: «С» (три точки) и «Х» (четыре точки). Для неискаженной передачи этих знаков требуется полоса  $2\Delta f$  [Гц] = ВК = 15 Гц (К = 3 числовой коэффициент для линий без замираний), однако сигнал, излучаемый в эфир, занимает полосу 2 кГц [4] (больше необходимой в 133 раза). Приёмник бортового АРК имеет полосу пропускания 600 Гц [4] (больше необходимой в 40 раз). Очевидно, что приводная радиостанция затрачивает мощность на бесполезное излучение, а приёмник принимает лишние шумы и помехи за пределами необходимой полосы, что ограничивает возможности ДПРМ в обеспечении требуемого ОСШ на входе приёмника АРК.

Для эффективного излучения сигнала в ДВ-СВ диапазонах требуются крупногабаритные передающие антенны, размещение которых на авианесущем корабле – большая проблема.

Исследования авторов показали, что требуемая эффективность малогабаритной антенны не может быть достигнута при существующем способе формирования навигационного сигнала. На примере одного из опытных образцов, авторам удалось доказать [5], что в таких габаритах (Д×Ш×В): 3,4×0,5×2,2 м невозможно одновременно достичь полосы согласования 2 кГц и требуемого уровня сигнала на входе приёмника АРК. Для доказательства авторы пользовались известным фундаментальным ограничением добротности электрически малых антенн [6] и соотношением для множителя ослабления поля от вертикального и горизонтального диполя, поднятого над поверхностью Земли [7].

Уменьшив полосу сигнала и полосу пропускания приёмника бортового радиоконуса можно обеспечить требуемую дальность действия ДПРМ малогабаритной антенной, вписанной в сферу 1,5 м [1].

Ниже приведен расчет характеристик и эффективности антенного устройства (рис. 1) состоящего из несимметричного излучателя с верхней емкостной нагрузкой (А), антенного контура ( $L_{AK}$ ), поглотителя ( $R_n$ ), и антенного трансформатора (Т). Несимметричный излучатель (рис. 2)

с верхней емкостной нагрузкой по условию должен быть вписан в сферу радиусом  $r = 1,5$  м. Вертикальная часть излучателя – стальная труба диаметром 6 дюймов (радиус  $a = 165$  мм) и длиной  $l = 1,5$  м; верхняя емкостная нагрузка, т. н. «крыша» – диск радиусом  $r = 1,5$  м.

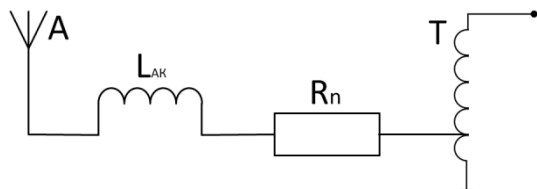


Рис. 1. Схема антенного устройства

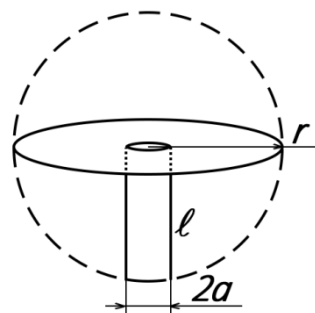


Рис. 2. Несимметричный излучатель с верхней емкостной нагрузкой

Размеры антенны ( $l$  и  $r$ ) много меньше длины волны, поэтому параметры антенны рассчитаны в режиме большого удлинения. Ёмкости горизонтальной и вертикальной частей антенны соответственно  $C_{\Gamma} = 420$  пФ и  $C_{\text{В}} = 440$  пФ, а полная ёмкость антенны составляет  $C_{\text{А}} = 860$  пФ.

На краях частотного диапазона реактивное сопротивление имеет величины: минус 9,8 кОм – на частоте 190 кГц и минус 1 кОм – на частоте 1750 кГц.

Действующая длина излучателя найдена по формуле:

$$l_{\text{д}} = l_1 \left( 1 - \frac{0,5C_{\text{В}}}{C_{\text{В}} + C_{\Gamma}} \right)$$

и составляет  $l_{\text{д}} = 1,1$  м.

Сопротивление излучения найдено по формуле Рюденберга справедливой при работе излучателя в режиме удлинения. На краях частотного диапазона сопротивление излучения имеет величину  $R_{\Sigma} = 7,9 \cdot 10^{-4}$  Ом на частоте 190 кГц и  $R_{\Sigma} = 6,8 \cdot 10^{-2}$  Ом на частоте 1750 кГц.

Для компенсации реактивности излучателя реактивное сопротивление удлиняющей катушки должно быть равно по величине и противоположно по знаку реактивному сопротивлению излучателя:  $X_L = -X_{\text{А}}$ , т. е.:  $X_L = 9,8$  кОм на частоте 190 кГц и  $X_L = 1,0$  кОм на частоте 1750 кГц.

По заданному сопротивлению найдена требуемая индуктивность катушки, которая на краях рабочего диапазона частот должна иметь величину:  $L = 8,2$  мГн – на частоте 190 кГц и  $L = 97$  мкГн – на частоте 1750 кГц.

Полагаем, что размеры бескаркасной катушки радиусом  $r = 0,5$  м и длиной  $lk = 0,5$  м будут приемлемы для размещения её внутри корабля под антенной.



Необходимое количество витков  $N$  бескаркасной катушки найдено по базовой формуле индуктивности. На краях частотного диапазона количество витков должно быть равно:  $N = 64,5$  – на частоте 190 кГц и  $N = 7$  на частоте 1750 кГц.

Внешняя добротность антенны (без учета потерь в органах настройки) на краях частотного диапазона равна  $Q_{\Sigma} = 1,24 \cdot 10^7$  – на частоте 190 кГц и  $Q_{\Sigma} = 1,59 \cdot 10^4$  – на частоте 1750 кГц. При такой добротности полоса пропускания  $2\Delta f$  имеет весьма малую величину: 0,015 Гц на частоте 190 кГц и 110 Гц на частоте 1750 кГц.

Полоса пропускания антенного устройства увеличена до необходимого значения за счет снижения добротности и, соответственно, КПД, путём включения в цепь излучателя сопротивления потерь  $R_{\Pi}$  (т. н. поглотителя антенного). Тогда добротность антенного устройства будет определяться формулой:

$$Q_{AV} = \frac{|X_A|}{R_{\Sigma} + R_{\Pi}}$$

Путём подбора найдена величина  $R_{\Pi} = 1,43$  Ом, при которой полоса пропускания  $2\Delta f$  будет не меньше 15 Гц во всём рабочем диапазоне частот. При этом, КПД антенного устройства, как отношение внешней добротности к добротности антенного устройства ( $\text{КПД} = Q_{\Sigma}/Q_{AV}$ ), на краях рабочего диапазона частот имеет величину:  $10^{-5}$  – на частоте 190 кГц и  $8,3 \cdot 10^{-2}$  – на частоте 1750 кГц. В результате потери мощности сигнала из-за низкого КПД составят 30 и 11 дБ на частотах 190 и 1750 кГц, соответственно. Такие потери вполне приемлемы, поскольку в диапазоне ДВ и СВ ослабление сигнала на радиолинии земных волн значительно меньше, чем в диапазонах УКВ и СВЧ. Ниже это утверждение обосновано энергетическим расчетом радиолинии.

Для предотвращения потерь из-за рассогласования 75-Омного выхода передатчика приводной радиостанции с антенным устройством необходимо, чтобы соотношением витков антенного трансформатора ( $T$ ) было равным 7 во всём диапазоне рабочих частот.

Энергетический расчет радиолинии «корабль – самолёт» выполнен для наихудших условий обеспечения радионавигации: над очень сухой почвой пустыни Сахара при максимальном уровне помех (ночью) при исходных данных, приведенных в таблице (см. ниже).

Расчет множителя ослабления мощности сигнала на трассе распространения радиоволн вычислен по методике [7]. Мощность шума на входе приёмника АРК найдена в соответствии с МСЭ-R P.372-10 [8].

В результате ОСШ на частоте 190 кГц составило: 12,3 дБ ночью и 38,9 дБ днём, а на частоте 1750 кГц: 25,4 дБ ночью и 49,4 дБ днём. Таким образом, ОСШ на входе приёмника радиокompаса не меньше требуемой величины (10 дБ) во всём диапазоне рабочих частот и днём и ночью.

ТАБЛИЦА. Исходные данные энергетического расчета

Протяженность радиолинии от Средиземноморской береговой линии Египта в глубину пустыни	150 км	
Параметры очень сухой почвы	$\varepsilon = 4,0$	$\sigma = 10^{-3}$ См/м
Высота установки передающей антенны над землей	4 м	
Высота самолёта над земной поверхностью	1000 м	
Время суток	Ночь – 1 час	День – 13 часов
Потери в фидере на передаче за счет низкого КПД	30 дБ (частота 190 кГц)	11 дБ (частота 1750 кГц)
Мощность передатчика приводной радиостанции	400 Вт	
Полоса сигнала, излучаемого в эфир	15 Гц	
Полоса пропускания приёмника автоматического радиокompаса	15 Гц	

Требуемая полоса согласования (15 Гц) антенны обеспечивается потерями, которые внесены включением дополнительного сопротивления потерь ( $R_{\text{п}} = 1,43$  Ом) в цепь излучателя. Так как элементы настройки: катушка и трансформатор имеют собственные потери, дополнительное сопротивление может не потребоваться. Напротив, возможно потребуются меры по уменьшению собственных потерь ради обеспечения высокой добротности антенного устройства. Так, если сопротивление потерь антенного устройства будет в два раза больше ( $R_{\text{п}} = 2,8$  Ом), то полоса согласования составит 50 Гц, а ОСШ на входе приёмника АРК (даже в тяжелых условиях: над совершенно сухой местностью при высоком уровне шумов) составит не менее 2,9 дБ на частоте 190 кГц.

Проблема размещения антенны приводной радиостанции ДВ-СВ диапазона на авианесущем корабле может быть решена без значительных изменений радионавигационных комплексов. Уменьшение полосы опознавательного сигнала до 15 Гц позволит реализовать миниатюрную антенну ДПРМ, которую можно будет вписать в сферу радиусом 1,5 м. Эффективность радионавигационного комплекса при этом будет достаточна для обеспечения привода самолётов на аэродром посадки в сложных условиях.

#### Список используемых источников

1. Ломакова А. С., Русин С. В., Савенкова Ю. В. Предельно достижимые габариты антенны радионавигационного комплекса // Современное состояние и перспективы развития систем связи и радиотехнического обеспечения в управлении авиацией: материалы V всерос. научн. конф., Воронеж, 13 октября 2016г.

2. Приводные аэродромные радиостанции типа ПАР-10, Автоматизированный приводной передатчик АПРМ-250. Техническое описание. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.irtysh.com.ru/catalog/radiostations/4.html> (дата обращения 20.04.2016).

3. Изделие РПДУ Р – 637 ЖЯ1.201.009 ТУ Технические условия.
4. Автоматический радиокompас АРК-11. Техническое описание. URL: <http://oleg-tulin.narod.ru/index/0-13> (дата обращения 25.05.2016).
5. Ломакова А. С., Русин С. В., Савенкова Ю. В., Шевченко В. В. Оценка возможности вывода самолета на аэродром посадки при уменьшении габаритов антенны приводной радиостанции // Информация и Космос. 2016. № 2. С. 45–48.
6. McLean J. S. A re-examination of the fundamental limits on the radiation Q of the electrically small antennas // IEEE Trans. Antennas and Prop. 1996. Vol.44. № 5. pp. 672–676.
7. Фок В. А. Поле от вертикального и горизонтального диполя, приподнятого над поверхностью Земли // ЖЭТф. 1949. Т. 19. № 10. С. 916.
8. Рекомендация МСЭ-R P.372-10 (10/2009) «Радишум».

**УДК 577.33**

## **БИОМЕТРИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ТКАНЕЙ ОРГАНИЗМА**

**Л. М. Макаров, С. В. Протасеня**

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

*Рассмотрены вопросы исследования и проведения косметологических процедур поверхностных биотканей организма человека с использованием медицинской ультразвуковой аппаратуры, реализующей терапевтические и диагностические процедуры, обеспечивающие всесторонний мониторинг.*

*вибромассажер, акселерометр, компьютерный анализ.*

Экспериментально установлено, что механическая вибрация возбуждает нервные окончания, утратившие функции, и, наоборот, успокаивает слишком возбужденные участки поверхности кожи. Кратковременное воздействие вибрации на определенные участки тела человека способствует развитию мышечного тонуса, повышению их работоспособности, улучшению кровоснабжения. Степень воздействия аппаратной вибрации на организм зависит от частоты и амплитуды колебаний, а также от продолжительности воздействия. На практике, для массового пользователя, имеется большое количество моделей вибрационных аппаратов, реализованных на основе ультразвукового излучателя. Например, Gezatone SuperSonic m350.

Необходимо помнить, что при действии на организм общей вибрации страдает в первую очередь нервная система и сенсорная сеть анализаторов: вестибулярного, зрительного и тактильного. Эти нарушения вызывают

головные боли, головокружения, нарушения сна, снижение работоспособности, ухудшение самочувствия, нарушения сердечной деятельности, расстройство зрения, онемение и отечность пальцев рук, заболевание суставов, снижение чувствительности. Общая низкочастотная вибрация оказывает влияние на обменные процессы, проявляющиеся изменением углеводного, белкового, ферментного, витаминного и холестерина обмена, биохимических показателей крови.

Вибромассаж оказывает воздействие на сосудистую систему, в том числе и развитую сеть капилляров. Все это улучшает кровообращение, нормализует сердечнососудистую деятельность. Известно [1], что низкие колебательные частоты (до 50 Гц) способны вызвать понижение артериального давления, а высокочастотные колебания (до 100 Гц), наоборот, поднимают артериальное давление, а также увеличивают число сердечных сокращений.

Установлено, что направленность сосудистых нарушений определяется, в первую очередь, параметрами воздействующей вибрации. Спазматические явления в капиллярах происходят при вибрации выше 35 Гц, а ниже наблюдается преимущественно картина атонии капилляров. Область частот 35–250 Гц наиболее опасна в отношении развития спазма сосудов. Декларируя эти замечания, признается негативное влияние вибрационных воздействий на организм, которое можно и нужно контролировать.

Для выявления позитивных тенденций использования вибромассажера рекомендуется использование акселерометра, регистрирующего изменение физических свойств поверхностного слоя кожи – эпидермиса.

В качестве базового представления о состоянии эпидермиса рассматривается показатель эластичности кожи. Высокое значение такого показателя свидетельствует, что все подкожные процессы, связанные с мышечным тонусом и кровотоком, активно «гасятся поверхностными слоями кожи». При этом, обратный эффект, характеризуемый наличием «ороговевших» слоев и складками кожи способствует фиксации низкого показателя эластичности.

Пьезоэлектрический акселерометр является универсальным вибродатчиком, в настоящее время применяемым почти во всех областях измерения, в том числе и медицинской практике. Типовая схема акселерометра помещена на рис. 1.

Применение вибродатчика – как сенсора, обеспечивает измерение скорости изменения механических колебаний. Вычислительный процесс и преобразование исходного сигнала обеспечивают встроенные в конструкцию электронные интеграторы, которыми снабжено большинство современных виброизмерительных приборов. Например, детектор вибраций: модель AP 1006.

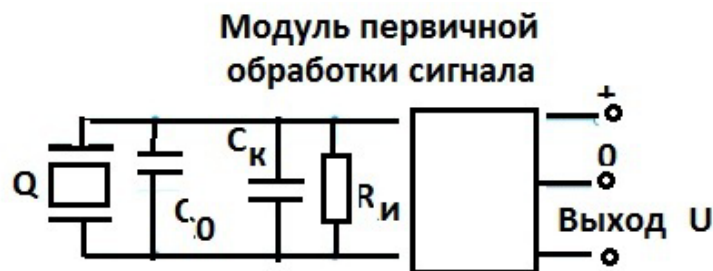


Рис. 1. Структурная схема акселерометра:  $Q$  – пьезодатчик;  $C_0$  – резонансная емкость;  $C_k$  – компенсирующая емкость;  $R_{и}$  – резистивный элемент источника сигнала

Опытом подтверждено, что общее среднеквадратичное значение скорости, измеряемое в частотном диапазоне от 4 до 100 Гц, наиболее точно отображает реальные свойства кожи. В рамках общей модели изменения физических свойств поверхностных тканей при действии вибромассажера объясняется капиллярным эффектом.

Разложение механических колебаний в индивидуальные частотные составляющие называется частотным анализом. Для проведения частотного анализа предусматривается подключение детектора к компьютеру. График зависимости амплитуды или уровня определенной величины механических колебаний от частоты называется частотной спектрограммой. Типичный вид спектрограммы представлен на рис. 2.

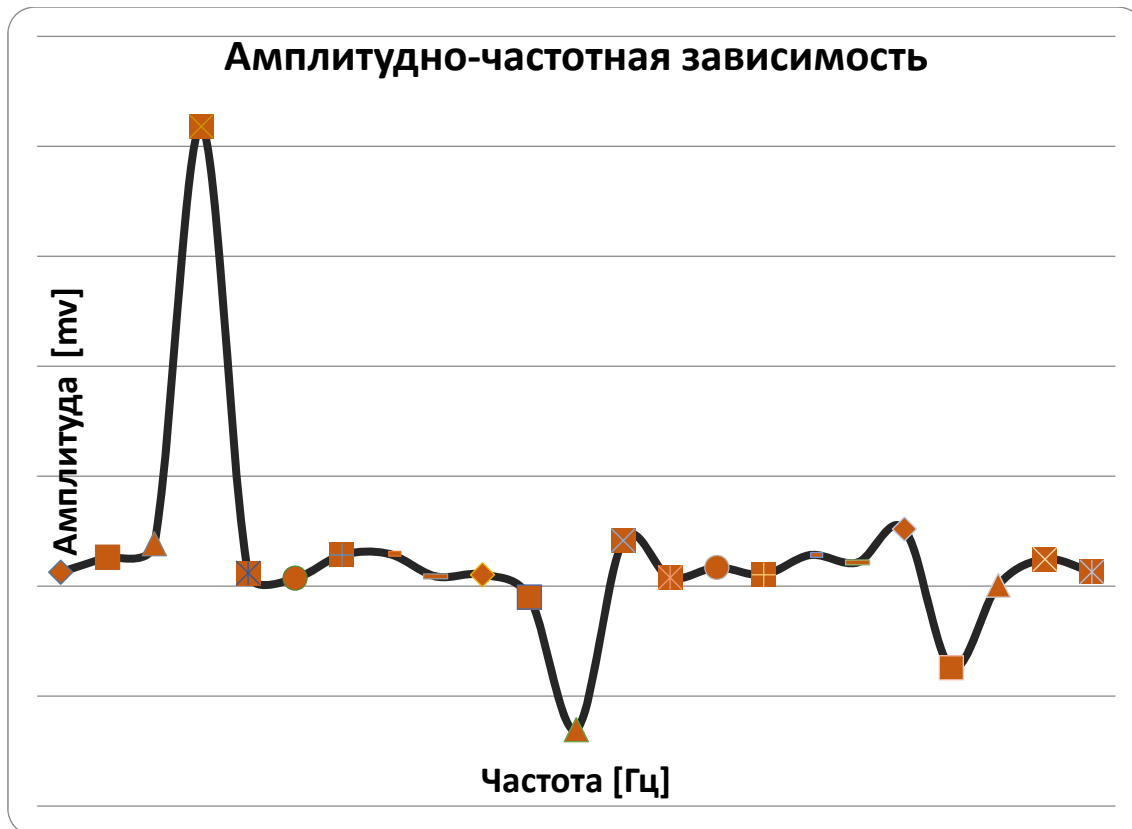


Рис. 2. Диаграмма, характеризующая эластичность биоткани

Общая характеристика иллюстративных данных создает представление о наличии на поверхности тела участка с высоким уровнем эластичности, несколько участков, с практически равными значениями эластичности и два участка, где эластичность характеризуется низкими значениями амплитуды сигнала вибродатчика. Сопоставление полученных результатов с анатомическими данными позволяет достаточно полно воспроизвести оценку биоткани.

#### Список используемых источников

1. Макаров Л. М. Моделирование систем: учеб. пособие. СПб.: СПбГУТ, 2010. 71 с.

УДК 004.523

## АУДИАЛЬНЫЙ ИНТЕРФЕЙС НА ОСНОВЕ СОНИФИКАЦИИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИНФОРМАЦИОННОГО АНАЛИЗА САЙТОВ

Д. А. Подольский, Г. Г. Рогозинский

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

*В статье представлено описание комплекса сонификации сложных сетей и систем. Сонификация расширяет возможности анализа сложной информации за счет использования слухового анализатора. Аудиальный интерфейс позволяет снизить нагрузку на оператора и быстрее обнаруживать характерные особенности в потоке данных.*

*Поступающая на вход системы информация была преобразована к виду, удобному для сонификации. Аппарат языка музыкального программирования Csound позволил представить полученные данные в виде соответствующих тембральных классов.*

*CSound, сонификация данных, аудиальный интерфейс.*

Учитывая современные тенденции погружения населения в информационное общество, все более актуальными становятся задачи, направленные на создание новых алгоритмов мониторинга данных и интерфейсов отображения действий пользователя в пространственной и временной областях с учетом  $N$ -мерного вектора выбранных параметров: пола, возраста, образования, активности в сети и т. п. [1]. В связи с этим, в последнее время интерес ученых вызывает область сложных сетей (англ. *complex network*). Согласно определению [2], это сеть, структура которой является

нерегулярной, сложной и динамично изменяющейся во времени. Данный интерес объясняется и ежегодным увеличением подключенных устройств к Интернету [3], и расширением аудитории, так называемых, «говорящих» пользователей социальных сетей Vkontakte и Facebook. Так, например, к декабрю 2016 численность Vkontakte составила 86 миллионов человек [4].

Для описания состояний сложной сети используются многомерные массивы данных, так как таблицы и списки успешно обрабатываются ПК и специализированными аналитическими комплексами. Стоит отметить, что, как правило, содержание данных в таких массивах слабо структурировано, а сами массивы занимают большие объемы. Такие данные называют «большими данными» (англ. *big data*).

При анализе больших данных оператор, получивший отчет в виде «сырых» неструктурированных данных (англ. *raw data*), зачастую не способен произвести оперативный анализ и получение необходимых знаний, а традиционные способы моделирования становятся неэффективными. Попытки визуализации сложной сети в виде графов выявили один из основных недостатков данного класса методов – использование лишь зрительного анализатора. Человеческий глаз способен различать примерно десять миллионов цветов, но для детального анализа сложных процессов необходимо следить одновременно за несколькими параметрами сложного графа. Архитектура сложной системы не всегда позволяет удобно расположить в поле зрения необходимую область сети. Программными средствами можно добиться отключения визуализации не нужных параметров графа, однако это вынуждает оператора системы постоянно вмешиваться в сложную взаимосвязь узлов. Как следствие, анализируемые данные могут сильно отличаться от реальных сетей, а граф перестает быть моделью сложной сети. Специфика мониторинга состояния сложных сетей и систем ставит вопрос о создании принципиально новых интерфейсов отображения «больших данных».

В первую очередь необходимо оптимально перераспределить информационные потоки, передаваемые оператору, между различными анализаторами с целью наиболее эффективного анализа сложной сети. Интерфейс отображения должен использовать в качестве каналов связи альтернативные аналитические системы человека, тем самым становясь *полиmodalным* интерфейсом отображения данных [5, 6].

Учитывая ряд преимуществ слухового восприятия во временной, пространственной и частотных областях, становится возможным использование неречевого аудио для передачи информации, т. е. сонификации (англ. *sonification*). Обоснование использования звука и его преимущества перед визуальными средствами представления информации широко обсуждалось в [7]. Главное отличие – способность слуховой системы воспринимать информацию независимо от ориентации головы оператора, а также

при ограничении зрения внешними или внутренними условиями. Еще одна особенность – возможность контролировать и обрабатывать множество параллельных звуковых потоков (при сохранении их перцепционной прозрачности), способность к быстрому слуховому обнаружению изменения в критических ситуациях, так как слух, в отличие от зрения, не способен к произвольному самовыключению [5]. И наконец, быстрое развитие науки и техники в сфере мобильных устройств позволяет использовать малогабаритные мобильные *слуховые дисплеи* для воспроизведения соницированных данных в любой точке земного шара. Это расширяет возможности совместного использования портативных устройств отображения информации: не ограничиваться выводом данных только на небольшие экраны умных часов или смартфонов, но и использовать различную аудио гарнитуру, подключив терминалы с помощью Bluetooth или Wi-Fi.

В связи с этим авторами статьи был разработан комплекс сонификации сложных сетей и систем, представленный на рис. 1. Комплекс создан в ходе совместной работы НОЦ «Медиацентр» СПбГУТ и Ленинградского отделения Центрального научно-исследовательского института связи (ЛОЦНИИС). В зависимости от функционального назначения, комплекс включает в себя три части: массив с большими данными (передающая сторона), слой сонификации (принимающая сторона) и вспомогательные системы (удаленные библиотеки, серверы резервирования и удаленного мониторинга). На передающей стороне реализуется доступ к лог-файлам цифровых АТС, обслуживание которых дистанционно осуществляется ЛОЦНИИС. Далее, в сервере анализа данных из всего массива выбираются параметры, необходимые для непосредственного анализа. Передача данных осуществляется к системе сонификации по протоколу OSC [8].

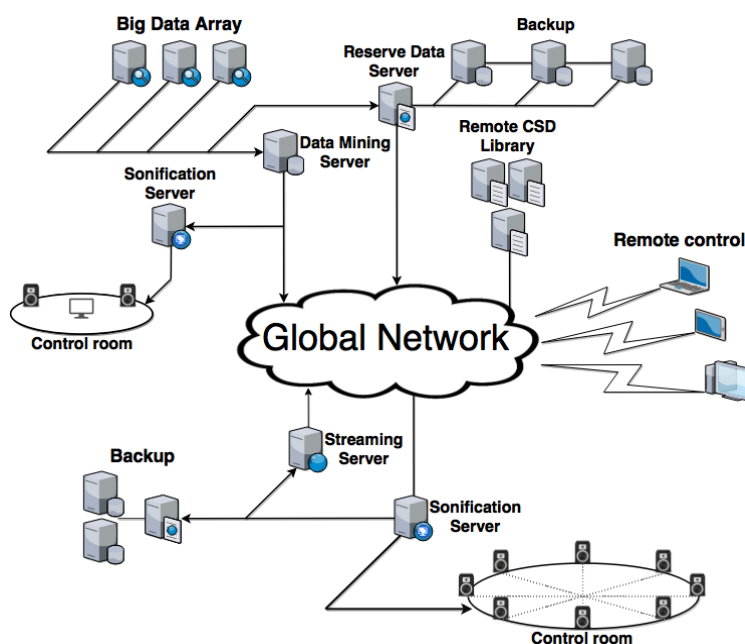


Рис. 1. Комплекс сонификации сложных сетей и систем



Для сонификации данных на приемной стороне используется аппарат языка музыкального программирования Csound, в библиотеке которого имеются функции, позволяющие реализовать практически любой звуковой алгоритм [9]. Основу аудиального интерфейса составляет восьмиканальная аудиосистема, подробно описанная [10]. Выбор данного интерфейса обуславливает размещение оператора в специальном помещении НОЦ «Медиацентр». Сонификатор способен воспроизводить до восьми искретенных каналов в несжатом формате 96 кГц / 24. Стоит отметить, что для удобства контроля отправленных данных организовано место мониторинга на передающей стороне. Все серверы сонификации имеют доступ к удаленной библиотеке готовых синтезаторов Csound (*Remote CSD Library*), что позволяет выбирать наиболее подходящие модели. Система сонификации комплекса представлена на рис. 2.

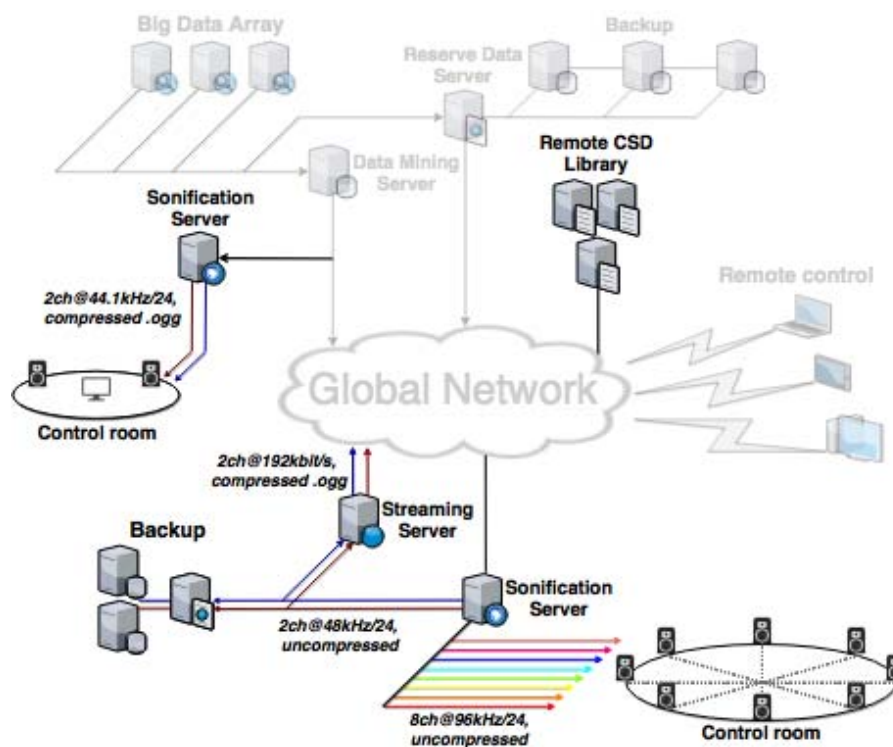


Рис. 2. Слой сонификации комплекса

При разработке восьмиканального аудиального интерфейса возник вопрос отладки работы алгоритмов сонификации и функций отображения данных. Для этого в качестве входных данных были использованы массивы, полученные в результате информационного анализа веб-сайтов [11]. Используя возможности в области звукового дизайна и вычислительной техники, авторы сонифицировали полученные данные с целью создания аудиального интерфейса. Разработанный экспериментальный интерфейс снижает нагрузку на оператора и позволяет анализировать большее количество информации за счет использования преимуществ слуха.

Вспомогательные серверы резервирования сохраняют ранее полученные данные – это позволяет производить сонификацию не только в реальном времени. Серверы вещания, синтезированного аудио дают возможность удаленного подключения к комплексу для дистанционного мониторинга процесса сонификации. Аудиальный интерфейс предоставляет пользователю возможность регулирования временного масштаба сонификации, характера тембров и других параметров.

Полученный комплекс сонификации сложных сетей можно рассматривать как подсистему полимодального интерфейса, в котором для передачи информации может использоваться не только слух, но и другие каналы восприятия. Комплекс поддерживает различные сетевые протоколы передачи данных, что позволяет оптимально перераспределить поступающие информационные потоки между устройствами отображения. Сам же интерфейс в перспективе должен быть более гибким в настройках отображения и воспроизведения «больших данных» – это позволит привлекать в качестве операторов системы людей, менее устойчивых к когнитивным нагрузкам. Влияние фактора личной интерпретации получаемой информации будет минимально.

#### Список используемых источников

1. Базенков Н. И., Губанов Д. А. Обзор информационных систем анализа социальных сетей // Управление большими системами. 2013. Вып. 41. С. 357–394.
2. Boccaletti S., Latorab V., Morenod Y., Chavezf M., Hwang D.-U. Complex networks: Structure and dynamics // Physics Reports. 2004. PP. 175–308.
3. Гольдштейн Б. С., Кучерявый А. Е. Сети связи пост-NGN. СПб.: БХВ-Петербург, 2013г. 160 с.: ил. ISBN 978-5-9775-0900-8.
4. Официальный сайт ВКонтакте, аудитория ВКонтакте. URL: [https://vk.com/page-47200925\\_44240810](https://vk.com/page-47200925_44240810) (дата обращения 25.03.2017).
5. Сергеев С. Ф., Падерно П. И., Назаренко Н. А. Введение в проектирование интеллектуальных интерфейсов: учеб. пособие. СПб.: СПбГУ ИТМО, 2011. 108 с.
6. Басов О. О., Сайтов И. А. Методы передачи полимодальной информации // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2015. Т. 15. № 2. С. 293–299.
7. Рогозинский Г. Г., Чесноков М. А., Щекочихин А. В., Черный Е. В., Смирнов И. Н. Особенности представления и обработки данных в сети дополненной акустической реальности // Системы управления и информационные технологии. 2015. № 3 (61). С. 89–93.
8. Документация протокола OSC. URL: <http://opensoundcontrol.org/> (дата обращения 25.03.2017).
9. Ed. by Richard Boulanger. The Csound Book. MIT Press, 2000. 782 p.
10. Подольский Д. А., Рогозинский Г. Г. Дополненная реальность на основе сонификации веб-парсинга [Электронный ресурс] // Интернет вещей и 5G. 2-я международная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых (INTHITEN 2016): сб. матер. конф. С. 65–69. URL: <http://inthiten.org/doc/61-65.pdf> (дата обращения 25.03.2017).

11. Подольский Д. А., Рогозинский Г. Г. Сонификация результатов информационного анализа сайтов // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. V Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сб. науч. ст. в 3 т.; Т. 1, С. 512–516. URL: <http://www.sut.ru/doci/nauka/5apino/apino2016.pdf> (дата обращения 25.03.2017).

**УДК 621.396.96**

**МОДЕЛИРОВАНИЕ АЛГОРИТМА ОБРАБОТКИ  
РАДИОЛОКАЦИОННОГО СИГНАЛА,  
ОТРАЖЕННОГО ОТ НАДВОДНОГО ОБЪЕКТА,  
В ПРОГРАММНОМ ПАКЕТЕ MATLAB**

**В. И. Покровская**

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

*Рассмотрен алгоритм обработки, отраженного от надводного объекта, радиолокационного сигнала для решения задачи повышения качества автоматического сопровождения цели.*

*В процессе моделирования получены результаты, подтверждающие целесообразность практического применения предложенного алгоритма.*

*радиолокационный сигнал, обработка сигнала, Matlab, моделирование алгоритма.*

При изучении, разработке и усовершенствовании радиолокационных систем, важным шагом является разработка алгоритма получения и обработки информации от радиолокационных станций (РЛС).

Целью работы является моделирование алгоритма обработки радиолокационного сигнала для обнаружения надводных целей, в программном пакете Matlab.

Моделирование проводилось при помощи дополнения к Matlab-Phased Array System Toolbox.

Phased Array System Toolbox содержит алгоритмы и инструменты для проектирования, моделирования, и анализа систем обработки сигналов для фазированных антенных решеток. Эти алгоритмы представлены в виде Matlab функций, системных объектов и Simulink блоков. Phase Array System Toolbox включает в себя алгоритмы для генерации сигналов, формирования луча, оценки направления прихода сигнала, обнаружения целей, и пространственно-временной адаптивной обработки. Phased Array System Toolbox поддерживает обобщенную структуру для моделирования

физической передачи, распространения через среду и окончательного приема сигнала и его обработки.

Предлагаемый алгоритм решения поставленной задачи в общем виде изображен на рис. 1 [1].

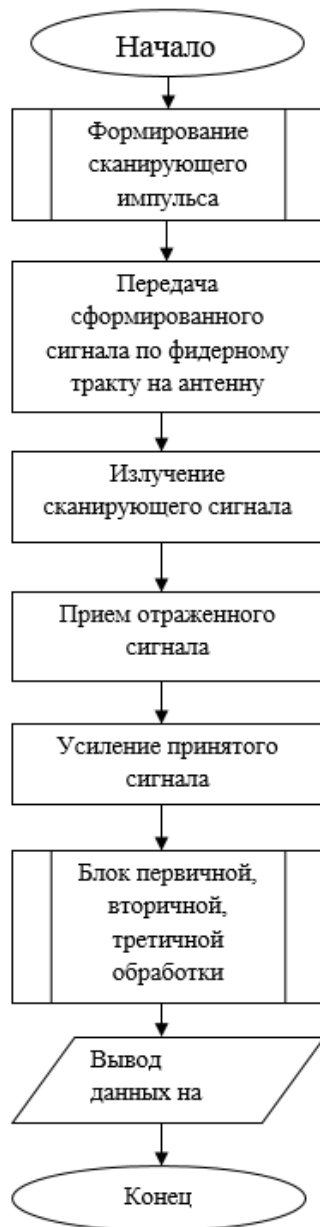


Рис. 1. Алгоритм решения поставленной задачи

На основе данного алгоритма была разработана схема работы РЛС, представленная на рис. 2 и смоделирована в Matlab Simulink [2, 3, 4].

Каждый блок имеет настраиваемые параметры. Таким образом можно задать форму передаваемого импульса, усиление, длительность,  $s$ -параметры, шумовой коэффициент приемного тракта, описать цель при помощи значений эффективной площади рассеивания и расстояния до нее.

После формирования зондирующего сигнала, РЛС непрерывно передает радиоимпульсы. Осциллограмма представлена на рис. 3.

РЛС принимает отраженный сигнал и обрабатывает его, выводя информацию оператору.

Данную модель можно дорабатывать, добавляя новые элементы. Таким образом можно проводить исследования для РЛС нескольких диапазонов, рис. 4.

Итогом проведенной работы является наличие модели работы РЛС, что позволяет моделировать работу системы, не задействуя настоящего оборудования.

Модель полезна как в исследованиях, так и для дальнейшего построения тренажера для операторов РЛС, позволяя производить гибкую настройку параметров блоков.

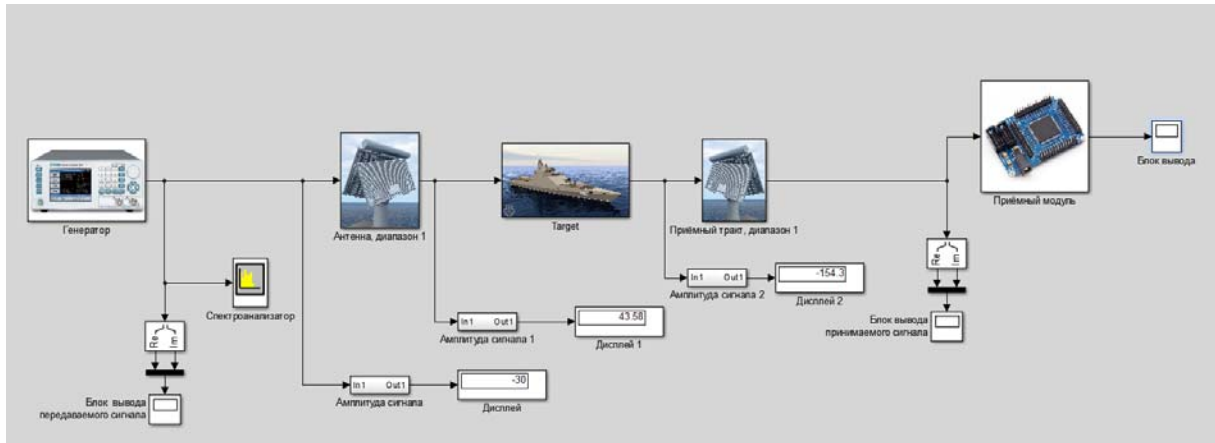


Рис. 2. Схема работы РЛС

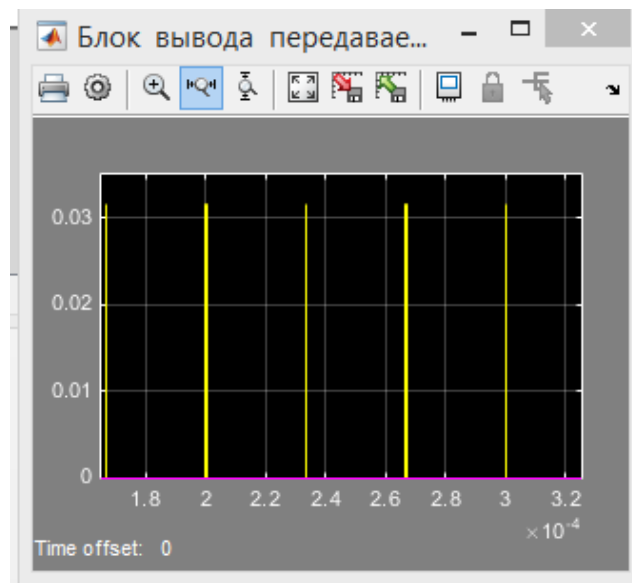


Рис. 3. Осциллограмма зондирующего сигнала

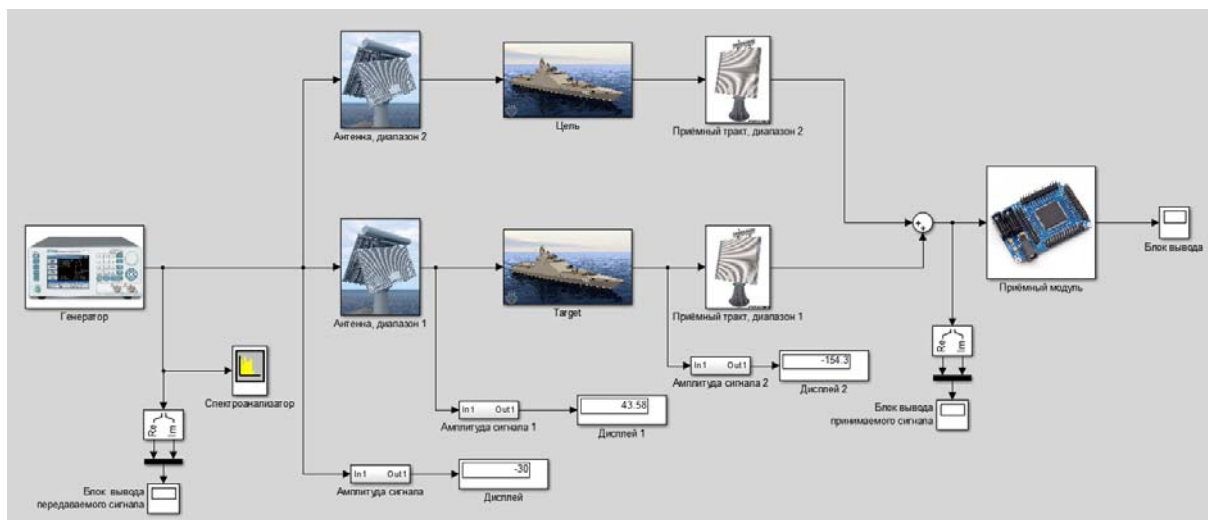


Рис. 5. Схема работы РЛС нескольких диапазонов

**Список используемых источников**

1. Козлов Н. Н., Лучин А. А., Труфанов Е. Ю. Радиоинформационные системы. Математическое обеспечение проектирования, испытаний и функционирования. М.: Знание, 2011. 656 с.
2. Bassem R. Mahafza, Ph.D. Radar Systems Analysis and Design Using: Chapman & Hall/CRC, 2000. 533 p.
3. Рабинер Л., Гоулд Б. Теория и применение цифровой обработки сигналов. М.: Мир, 1978. 848 с.
4. Сергиенко А. Б. Цифровая обработка сигналов: учебник для вузов. 2-е изд. СПб.: Питер, 2007. 751 с.

*Статья представлена научным руководителем, доктором технических наук, профессором С. М. Одоевским.*

**УДК 621.397**

## **МЕТОДИКА ОЦЕНКИ СРЕДНЕЙ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ СЕТИ СТАНДАРТА LTE НА ОСНОВЕ РАСЧЕТА ВНУТРИСИСТЕМНОЙ ИНТЕРФЕРЕНЦИИ**

**В. В Стариков**

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича  
Санкт-Петербургский государственный университет

*В статье предлагается новая методика оценки средней пропускной способности сети стандарта LTE, построенная на основе расчета внутрисистемной интерференции. Благодаря учету помеховой обстановки становится возможным решить комплексную задачу синтеза сети начального приближения. Предлагаемая методика позволяет вычислить в первом приближении «гарантированное» значение пропускной способности как отдельного фрагмента, так и всей сети в целом. Таким образом, производимая оценка позволяет построить оптимальную сеть начального приближения стандарта LTE с точки зрения выполнения требований по абонентской емкости, пропускной способности и уровню внутрисистемной интерференции.*

*планирование стандартов связи четвертого поколения, сеть начального приближения, частотный кластер, пропускная способность, абонентская емкость, бюджет потерь.*

Планирование сетей мобильной связи является сложной и многокритериальной задачей, решаемой в рамках общей методики построения сетей мобильной радиосвязи [1, 2]. Однако разработка частных методик, позволяющих учитывать специфику того или иного стандарта связи, также не-

обходима. На сегодняшний день данный вопрос наиболее актуален для активно развивающихся сетей стандарта LTE.

Данная статья посвящена решению частной задачи, решаемой в рамках синтеза начального приближения сети LTE, – оценки средней пропускной способности как отдельной соты, так и сети в целом.

### *Средняя пропускная способность соты*

Как показывает практика, требуемая пропускная способность на линии «вверх» в сетях LTE составляет  $\approx 23\%$  от общей требуемой пропускной способности, что, в целом, соответствует ярко выраженной тенденции к асимметрии трафика в сетях мобильного радиодоступа [3]. Приняв во внимание данный факт, целесообразно ввести допущение о необходимости расчета средних пропускных способностей только по линии «вниз».

Для расчета средней пропускной способности соты  $Th_{cell}$  необходимо получить распределение скоростных колец в соте. Естественно, на данном этапе радиусы модуляционно-кодирующих схем не будут выражаться в км, а будут отнесены к радиусу  $R$  всей соты. Например, зона действия высокоскоростной, но слабо помехозащищенной модуляционно-кодирующей схемой (MCS – *modulation and coding scheme*) с соответствующей ей индексом индикатора качества канала (CQI – *Channel Quality Indication* № 13 (модуляция 64-QAM, скорость кода равна 0,75) равна  $0,2 R$ , а помехоустойчивой и низкоскоростной MCS № 2 (модуляция 4-QPSK, скорость кода 0,12)  $0,9 R$  соответственно.

Итого, для расчета средней пропускной способности соты необходимо:

- 1) Рассчитать относительные радиусы модуляционно-кодирующих схем.
- 2) Рассчитать % площади от целой соты, который занимает тот или иной сегмент.
- 3) Рассчитать пропускную способность для каждого скоростного сегмента.
- 4) Определить среднюю пропускную способность соты.

Конечно, можно вывести соотношения радиусов скоростных колец в процессе расчета бюджета потерь, моделирования в САПР или на основе статистики уже действующих базовых станций (eNB) аналогичной конфигурации, размещенных в похожей морфоструктуре. После чего высчитать вероятность нахождения абонента в том или ином скоростном сегменте и таким образом оценить среднюю пропускную способность соты. Однако в реальных сетях на радиус действия той или иной MCS рассматриваемой eNB большое влияние оказывают соседние соты, работающие в той же полосе частот [4].

Для снижения уровня внутрисистемной интерференции в сетях LTE реализована технология внутрисотовой координации помех ICIC (*Inter-cell Interference Coordination*), предусматривающая управление каналным ресурсом в частотной и временной областях. В частотной области задачи ICIC состоят в координации использования отдельных участков рабочего диапазона соседними eNB. Во временной области возможно снижение уровня мощности (или полное прекращение передач) в отдельных субкадрах соты «агрессора» с тем, чтобы существенно снизить создаваемые ею помехи в сотах «жертвах». Несмотря на реализацию этой технологии в реальных сетях, её учет (моделирование) при оценке пропускной способности не представляется возможным в виду сложности имитации алгоритма работы. Фактической расплатой в сетях LTE за существенное снижение уровня внутрисистемной является существенное снижение общей пропускной способности сети [5]. Это связано с тем, что фактически на «плечи» технологии ICIC «ложится» задача создания динамической кластерной структуры, где в большинстве случаев для совокупности близлежащих сот не допускается одновременное использование двумя и более eNB одного и того же частотно-временного ресурса. Очевидно, что степень такого «вмешательства» технологии ICIC в управление частотно-временным ресурсом будет зависеть от исходных пространственно-технических параметров, определенными на этапе построения сети начального приближения.

Таким образом, при расчете скоростных зон соты, исходя из оценки бюджета потерь или статистических данных, полученные распределения скоростей не будут отражать в полной мере уровень внутрисистемной интерференции.

Из всего вышесказанного следует вывод о том, что для оценки распределения скоростей необходимо задаться окружением БС (т. е. фактически выбрать кластерную структуру), которое позволит в дальнейшем оценить уровень внутрисистемных помех и получить распределение скоростей рассчитанное, исходя из помеховой обстановки. Сформируем ряд критериев выбора оптимальной кластерной структуры:

- удовлетворение требований к пропускной способности абонентской емкости;
- максимизация коэффициента повторения частотного ресурса сети в каждой соте (одновременного использования);
- удовлетворение заданным требованиям уровня внутрисистемной интерференции на границе соты;

Описанный в [6] механизм оценки уровня внутрисистемной интерференции на границе позволяет произвести выбор вида и конфигурации кластерной структуры, обеспечивающего работоспособность заданной MCS на границе соты.



В качестве примера приведем соотношения радиусов некоторых MCS (табл.) для несекторированного кластера с дробным повторным распределением частотного ресурса, состоящего из 3-х сот. Конфигурация MIMO 2×2, выделенный частотный ресурс на кластер равен 20 МГц (10 МГц на соту), условия приема сигнала абонентским терминалом E-UTRA, 5 Гц. Сетевая загрузка равна 70 % [7, 8].

ТАБЛИЦА. Соотношения скоростных колец в соте

Индекс CQI, соответствующий MCS	Модуляция	Скорость кода, $R_{code}$	Средняя пропускная способность зоны, Мбит/с	Относительный радиус, $R_{отн}$	Доля от общей площади соты [%]
1	4-ФМ	0,08	2,0	1	15,36
2	4-ФМ	0,12	3,08	0,92	17,4
·	·	·	·	·	·
·	·	·	·	·	·
14	64-КАМ	0,85	67,2	0,23	1,29
15	64-КАМ	0,93	73,0	0,2	4

При равномерном распределении абонентов по территории обслуживания сети их количество в том или ином скоростном сегменте любого eNB будет пропорционально его площади. Следовательно, долю площади, занимаемую той или иной скоростной зоной можно принять в качестве весового коэффициента для пропускной способности каждой из зон.

Таким образом, среднюю пропускную способность соты находим по формуле:

$$Th_{cell(DL)} = \sum_1^{15} (Th_{MCS1} \times S_{MCS1} + Th_{MCS2} \times S_{MCS2} + \dots + Th_{MCS15} \times S_{MCS15}).$$

Следует отметить, что основная сложность при оценке средней пропускной способности на линии «вверх» состоит в учете взаимных внутри-системных помех, создаваемых абонентскими терминалами. Однако с учетом того, что на сегодняшний день трафик в мобильных сетях носит асимметричный характер (доля трафика на линии «вверх» составляет 20~30), ею можно пренебречь ввиду низкой вероятности одновременного занятия абонентами общего частотно-временного ресурса.

### Требуемое число eNB для однородного фрагмента сети

Число eNB  $N_{eNB}$  однородного фрагмента сети начального приближения будет определяться как:

$$N_{eNB} = \frac{Th_{net(DL)}}{Th_{cell(DL)}}.$$

### Определение площади и требуемого радиуса соты

Определим площадь соты  $S_{eNB(mp)}$  как:

$$S_{eNB(mp)} = \frac{S_{net}}{N_{eNB}} [\text{км}^2],$$

где  $S_{net}$  – площадь зоны обслуживания сети [ $\text{км}^2$ ]

Определим требуемый радиус соты  $R_{eNB(mp)}$ , км:

$$R_{eNB(mp)} = \sqrt{\frac{S_{eNB(mp)}}{\pi}}.$$

### Уточнение радиуса соты

На данном этапе, основываясь на характеристиках оборудования, ширины полосы частот, рабочего диапазона и параметре требуемого SINR на границе соты производится поиск требуемой мощности передатчика eNB. Путем расчета бюджета потерь при максимальной мощности передатчика находится значение максимально-допустимых потерь на трассе распространения (MAPL – *Maximum Allowable Path Loss*). Подставив эту величину в соответствующую частоте и морфоструктуре местности формулу определения максимально допустимых потерь на трассе распространения выражается радиус соты. Например, в условиях городского центра для сети частотой 1800 МГц радиус соты будет найден, используя следующий вид формулы COST-231 Hata:

$$MAPL = 48,5 - 13,82 \lg(H_{BS}) + 35,4 \lg(F) - (1,1 \lg F - 0,7) \cdot H_{MS} + (44,9 - 6,55 \lg(H_{BS})) \cdot \lg(R),$$

$$R = 10^{\frac{MAPL - 48,5 + 13,82 \lg(H_{BS}) - 35,4 \lg(F) + (1,1 \lg F - 0,7) \cdot H_{MS}}{(44,9 - 6,55 \lg(H_{BS}))}},$$

где  $H_{BS}$  и  $H_{MS}$  – высоты подвесов антенн eNB и UE соответственно.

В результате проведенного расчета определяется радиус соты, выраженный в абсолютных величинах, и соответствующие ему параметры оборудования БС.

Отдельно стоит отметить тот факт, что при расчете бюджета потерь величина запаса на интерференцию будет зависеть от типа и конфигурации выбранной кластерной структуры.

Методика расчета уровня взаимных помех для различных конфигураций кластерных структур [6] позволяет получить оценку интерференционной картины для наихудшего сценария, что, в свою очередь, позволяет в первом приближении «гарантировать» минимально-возможную среднюю пропускную способность сети при заданных типах застройки, конфигурациях оборудования и полном отсутствии затрат на координацию частотно-временных ресурсов сети. Произведя расчеты внутрисистемной интерференции для различных кластерных структур, можно определить соответствующий каждой структуре запас на интерференцию, позволяющий в дальнейшем производить точную оценку скоростных зон соты, ограничиваясь лишь рамками процедуры расчета бюджета потерь.

#### Список используемых источников

1. Бабков В. Ю., Вознюк М. А., Михайлов П. А. Сети мобильной связи. Частотно-территориальное планирование. М.: Горячая линия – Телеком, 2007. 222 с.
2. Бабков В. Ю., Цикин И. А. Сотовые системы мобильной радиосвязи: учебное пособие. 2-е изд. перераб. и дополн. СПб.: БХВ – Петербург, 2013. 432 с.
3. Ерохин С. Д. Анализ профилей абонентского интернет трафика // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2012. Т. 6. № 6. С. 17–18.
4. Фокин Г. А., Стариков В. В. Оценка показателей функционирования радиосети LTE средствами имитационного моделирования // Неделя науки СПбПУ материалы научного форума с международным участием. Институт физики, нанотехнологий и телекоммуникаций; В. Э. Гасумянц, Д. Д. Каров – ответственные редакторы. 2015. С. 37–40.
5. Рыжков А. Е., Сиверс М. А., Бабкин А. С., Пыленок А. М., Трофимов А. П. Сети стандарта LTE. Развитие технологий радиодоступа: монография. СПб.: СПбГУТ, 2015. 256 с.
6. Бабков В. Ю., Никитина А. В., Стариков В. В. Определение пространственно-технических параметров сотовой сети начального приближения стандарта LTE // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Информатика. Телекоммуникации. Управление. 2015. № 1 (212). С. 7–15.
7. 3GPP TS 36.104: "Base Station (BS) radio transmission and reception" (Release 9). April 2011.
8. 3GPP TS 36.101: "User Equipment (UE) radio transmission and reception" (Release 11). November 2012.

*Статья представлена научным руководителем, доктором технических наук, профессором В. Ю. Бабковым.*

УДК 621.391.825

## РАДИОЭЛЕКТРОННОЕ ПРОТИВОДЕЙСТВИЕ БПЛА

Э. Н. Сунгатуллин, В. М. Устименко

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

*Современные беспилотные летательные аппараты, или дроны, начинены сложной радиоэлектронной аппаратурой, предназначенной для решения функциональных задач, определяющих высокую эффективность применения летательного аппарата. В то же время наличие сложной радиоэлектронной аппаратуры обуславливает ее высокую уязвимость от внешнего воздействия организованных радиоэлектронных помех. Причем воздействовать такой помехой возможно на каждое устройство (систему), входящее в состав данной аппаратуры на борту беспилотных летательных аппаратов. В статье рассмотрены способы радиоэлектронной борьбы с беспилотными летательными аппаратами и вариант классификации этой борьбы. Также рассмотрены варианты реализации противодействия им, и приведен пример такого устройства и принцип его работы. Оптимально сгенерированные помеховые сигналы показали на испытаниях хорошую эффективность при нейтрализации коммерческих беспилотных летательных аппаратов – квадрокоптеров.*

*БПЛА, постановщик помех, WiFi, GPS, GLONASS, помеховый сигнал, спектр сигнала, квадрокоптер, канал передачи данных телеметрии, канал передачи команд.*

Современные летательные аппараты – как военного, так и гражданского назначения – выполняют важнейшие задачи разведки и освещения оперативной обстановки. Значительная нагрузка в этой области возлагается на беспилотные летательные аппараты (БПЛА), которые обеспечивают в заданной определённой зоне пространства ведение разведки или мониторинг оптическими и радиоэлектронными средствами.

В передовых странах мира уже разработаны и продолжают высокими темпами совершенствоваться и создаваться новые образцы БПЛА широкого спектра лётно-технических характеристик и назначения.

Обычно в комплект БПЛА входит:

- собственно БПЛА;
- пункт управления (пульт оператора, приёмопередающая аппаратура);
- система связи с БПЛА (прямая или спутниковая радиосвязь);
- дополнительное оборудование (необходимое для перевозки или обслуживания БПЛА).

По типу управления БПЛА делятся на:

- управляемые автоматически;
- управляемые оператором с пункта управления;

– гибридные.

БПЛА условно по габаритам можно разделить на три основные категории [1]. Аппараты *среднего* и *большого* размера, имеющие большие геометрические размеры, значительный тепловой контраст за счет использования мощных двигателей внутреннего сгорания, несущие пушечное и ракетно-бомбовое вооружение, параболические спутниковые антенны, имеющие большую эффективную площадь рассеяния (ЭПР), представляют хорошую цель для средств противовоздушной обороны (ПВО). *Малоразмерные* БПЛА, к которым также относятся различные *квадро-*, *мультикоптеры*, характеризуются малыми геометрическими размерами, низкой тепловой контрастностью и скоростью полета, а также малой ЭПР, что не позволяет обеспечить достаточную эффективность их поражения. Решением проблемы нейтрализации этого класса БПЛА являются средства радиоэлектронной борьбы (РЭБ).

К малоразмерным можно отнести:

- *нано*-БПЛА с дальностью менее 1 км и массой менее 25 г;
- *микро*-БПЛА с дальностью действия до 10 км и массой до 5 кг;
- *мини*-БПЛА – до 10 км и менее 20 кг.

В основном данные БПЛА используются для оперативной воздушной разведки в реальном времени или несанкционированной слежки и мониторинга, а также создавать реальную военную и террористическую угрозу особо важным объектам и элементам инфраструктуры, т. к. могут нести на себе взрывчатые вещества или другое оружие, например, гранату или бомбу. Для этого применяются стабилизированные фото- и видеоаппаратура, а также инфракрасная (ИК) камера. Навигация осуществляется при помощи сигналов GPS или GLONASS и, иногда, по данным инерциальной системы, полет выполняется либо по командам оператора, либо автоматически на автопилоте по замкнутому маршруту, но с возможностью оператора вмешаться в управление в любой момент. Малоразмерные БПЛА чаще всего оснащены электродвигателем с аккумуляторным питанием или поршневым двигателем с малым расходом топлива. В конструкции широко используются композиционные радиопрозрачные материалы.

Применение малоразмерных БПЛА в ходе локальных конфликтов по всему миру показало, что в ходе выполнения полета их радиочастотные каналы доступны для средств радиотехнической разведки (РТР) и уязвимы для средств радиоэлектронного подавления (РЭП) [2]. К данным информационным каналам относятся (рис. 1):

- канал передачи команд с пункта управления на БПЛА;
- канал передачи данных и телеметрии с БПЛА на пункт управления;
- канал навигации – приёма сигналов спутниковых радионавигационных систем (СРНС), таких как GLONASS, GPS, GALILEO и др.

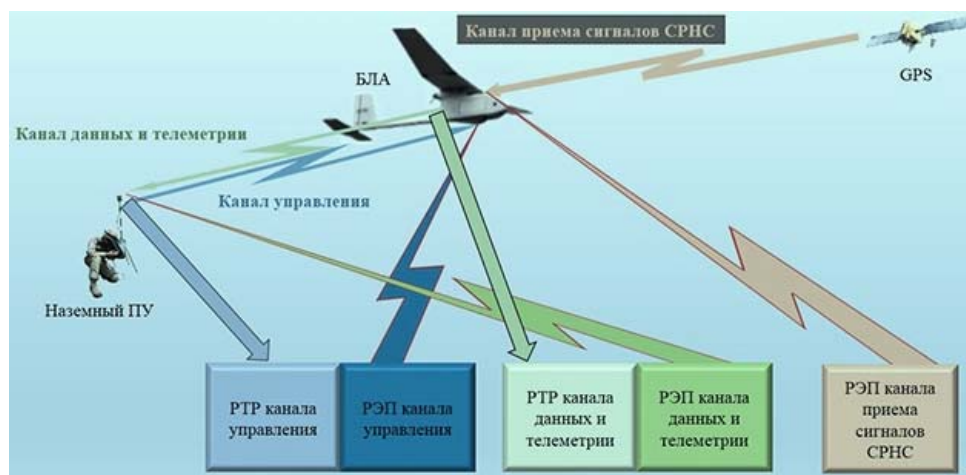


Рис. 1. Радиоканалы БПЛА, доступные для средств РТР и уязвимые для средств РЭП

Для борьбы с БПЛА не обязательно его физическое уничтожение. Может возникнуть ситуация, когда БПЛА, не входя в зону поражения ПВО, будет выполнять разведывательный полет, вскрывая позиции войск и осуществляя целеуказание для вражеских ударных средств. В этом случае использование средств РЭП позволит подавить как канал приема данных с борта БПЛА, так и канал команд управления разведывательными средствами на борту БПЛА. Помимо подавления командной связи и канала данных необходимо подавление канала приема сигналов спутниковой навигации. Данные этих сигналов используются не только для построения маршрута БПЛА, но и для целеуказания ударным средствам, т. к. координаты разведываемых объектов выдаются на основе сигналов геопривязки самого БПЛА. При потере радиосвязи с наземным комплексом управления малоразмерный БПЛА может переходить на резервный канал. Тогда резервный канал должен также подавляться. При отсутствии связи и на резервном канале БПЛА прекращает выполнение задания и, в зависимости от типа, становится в круг в ожидании возобновления связи или возвращается к месту вылета, или же, как в случае коммерческих квадрокоптеров, совершает посадку вертикально вниз по истечении какого-то времени ожидания. Подавление канала приема данных делает бесполезным выполнение разведывательного полета БПЛА, т. к. с борта не будет поступать информация об объектах разведки.

При потере БПЛА сигналов управления и геопозиционирования и отсутствии обратной связи с БПЛА, полет разведывательного БПЛА завершится досрочным возвращением или безвозвратной потерей.

Таким образом, комплексная РТР с поиском, обнаружением, распознаванием и определением координат БПЛА и РЭП каналов управления, передачи данных и приема сигналов СРНС, которое позволит сорвать выполнение задачи БПЛА с более высокой эффективностью, чем применение средств поражения, являются наиболее эффективным и перспективным методом борьбы с малоразмерными БПЛА.

Для этой цели был разработан и испытан демонстрационный образец переносной системы подавления (СП) каналов управления, данных и навигации малоразмерных БПЛА «Купол», конструктивно выполненной в виде кейса (рис. 2).



Рис. 2. Внешний вид и диаграммы направленности антенн СП «Купол»

Комплекс обеспечивает противодействие сигналам каналов управления и передачи данных наземных пунктов управления, бортовых средств беспилотных летательных аппаратов в диапазоне частот WiFi 2,4 ГГц и сигналам СРНС (GPS и GLONASS) в диапазоне частот 1559–1605 МГц. Может работать от встроенной аккумуляторной батареи (АКБ) или внешнего питания 220 В. Могут использоваться две группы антенн – всенаправленные (с круговой диаграммой направленности) и направленные антенны:

- а) 1,6 ГГц –  $K_y = 10$  дБ, ширина диаграммы направленности (ДН) (по уровню минус 3 дБ) –  $40^\circ$ , с максимумом ДН на  $18^\circ$  выше горизонта;
- б) 2,4 ГГц –  $K_y = 10$  дБ, ширина ДН (–3 дБ) –  $40^\circ$ , с максимумом ДН на  $14^\circ$  выше горизонта.

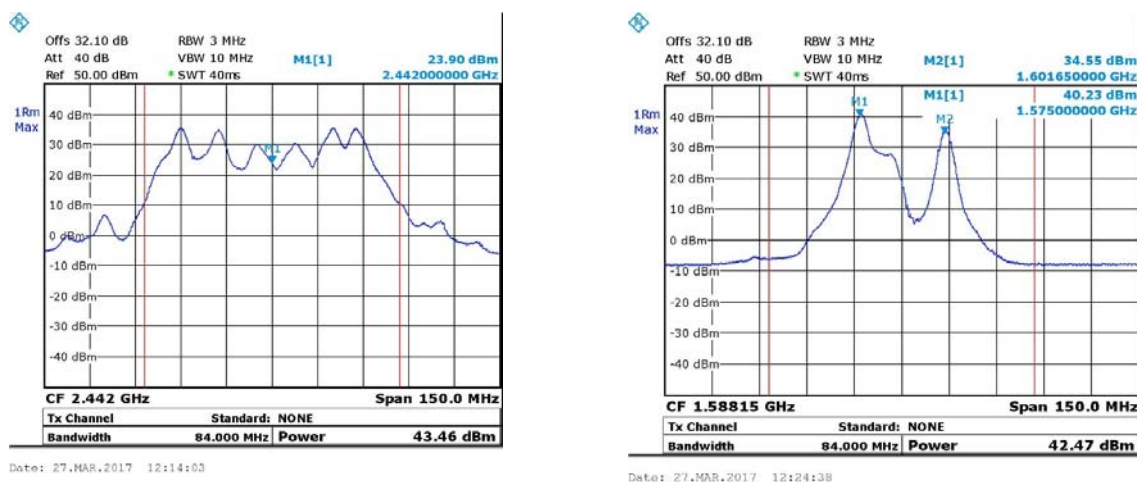


Рис. 3. Спектры помеховых сигналов WiFi 2,4 ГГц и СРНС GPS и GLONASS

На рис. 3 представлены спектры помеховых сигналов в диапазоне Wi-Fi (каналы управления и передачи данных) и СРНС GPS и GLONASS в режиме *maxhold*, сгенерированные по методу, описанному в [3].

Экспериментально измеренная дальность действия СП «Купол» при работе с направленными антеннами и максимальной интегральной мощности помеховых сигналов (более 10 Вт) составляет не менее 1500 м.

Таким образом, эффективное радиоэлектронное противодействие малоразмерным БПЛА достигается подавлением каналов управления, передачи данных и телеметрии, а также каналов приема сигналов СРНС.

#### Список используемых источников

1. Биард У., МакЛэйн Т. Малые беспилотные летательные аппараты. Теория и практика : пер. с англ. / под ред. к.т.н. Г. В. Анцева. М.: Техносфера, 2015. 312 с.
2. Слюсар В. Передача данных с борта БПЛА: стандарты НАТО // Электроника. 2010. № 3. С. 80–86.
3. Сунгатуллин Э. Н., Устименко В. М. Формирование широкополосных помех // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. V Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сб. науч. ст. в 3 т.; т. 1 / под ред. С. В. Бачевского. СПб.: СПбГУТ, 2016. С. 210–213. URL: <http://www.sut.ru/doci/nauka/5arino/apino2016.pdf> (дата обращения 29.03.2017).

УДК 621.397.13: 004.93'11

## ПОСТРОЕНИЕ РОБОТИЗИРОВАННОГО МОБИЛЬНОГО УСТРОЙСТВА С ФУНКЦИЕЙ ОБНАРУЖЕНИЯ ЛЮДЕЙ НА ОСНОВЕ ROS

Д. А. Татаренков

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

*Рассматриваются современные платформы для создания роботизированных мобильных устройств. Приводятся параметры выбора оптимальной среды для проектирования социального робота, способного интерпретировать визуальную информацию, адекватно реагировать на изменения окружающей обстановки и действия человека. Описываются некоторые аспекты построения роботизированной платформы на основе ROS с функцией обнаружения людей.*

*роботизированное устройство, компьютерное зрение, ROS.*

Задача разработки мобильных роботов, и симуляции их взаимодействия с окружающей средой, человеком стоит перед исследователями уже



много лет. Требуется согласованная работа устройств регистрации, обработки, перемещения и манипуляции роботизированного устройства.

В настоящее время не существует какого-либо общепринятого стандарта, какой-либо одной платформы для создания программного обеспечения для роботов. Однако существует несколько решений, которые широко используются в академических кругах и могут лечь в основу такого стандарта. К наиболее успешным проектам можно отнести программную среду ARIA от корпорации MobileRobots Inc [1]. Также существуют открытые проекты. Примером таких систем могут послужить ROS (*Robot Operating System*), Orocos (*Open Robot Control Software*) [2], OPRoS (*Open Software Platform for Robotic Services*) [3], RT-middleware (*Robotics Technology Middleware*) [4] и др.

Особо следует отметить международный проект ROS [5], мета-операционную систему для роботов, представляющий собой набор библиотек с открытым исходным кодом, которые решают широкий круг робототехнических задач. ROS широко используется компаниями, которые занимаются разработкой роботизированной техники, университетами, институтами по исследованию робототехники. Основной целью ROS является поддержка повторного использования кода в робототехнических исследованиях. Система используется для разработки, построения и симуляции модели робота, а также взаимодействия с настоящим оборудованием. В настоящее время ROS является необходимым инструментом для инженеров робототехники. Система основана на архитектуре графов, где обработка данных происходит в узлах, которые могут получать и передавать сообщения между собой. Граф вычислений ROS представляет собой сеть процессов, называемых узлами, которые обрабатывают данные совместно. Узлы могут обмениваться данными посредством тем, сервисов или сервер-параметров. При старте узел сообщает свои регистрационные данные мастер-узлу, который хранит регистрационную информацию. От него же узел может получить информацию о всех зарегистрированных узлах и наладить с ними связь напрямую через согласованный протокол обмена TCPROS, в основе которого лежит TCP/IP. Мастер также информирует узлы об изменениях в системе, что позволяет динамически создавать соединения при старте новых узлов (рис. 1).

На уровне файловой системы основным блоком для организации программного обеспечения в ROS является пакет. Пакет ROS как правило содержит исходные коды и исполняемые файлы узлов и файлы конфигурации, и может быть дополнен библиотеками, описанием сообщений и сервисов, базами данных, и другими ресурсами, которые логично располагать вместе. Каждый пакет содержит файл манифеста, который предоставляет метаданные о пакете, включая сведения о лицензии и зависимостях, флаги компилятора и так далее. Пакеты, предоставляющие со-

вместную функциональность, могут объединяться в стеки, например, «стек навигации».

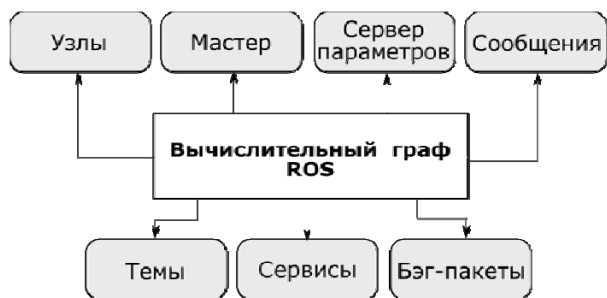


Рис. 1. Вычислительный граф

Причинами выбора ROS в качестве основы для мобильного роботизированного устройства с функцией обнаружения людей являются универсальность, модульность, гибкость, возможность масштабирования, открытый программный код, большое количество готовых драйверов для устройств, возможность независимо

разрабатывать и добавлять в систему собственные модули, легкость отладки, большое активное сообщество по всему миру, удобство разработки и использования. Отдельно стоит отметить наличие пакета `cvbridge`, который позволяет производить обработку изображений средствами библиотеки `OpenCV`.

Узлы могут быть распределены по разным компьютерам, а топология системы может быть легко изменена в процессе работы без необходимости перекомпиляции. Визуальная информация в системе принимается посредством визуального сенсора Kinect v2. Сенсор подключен к миниатюрному вычислительному устройству с установленным процессором Intel Atom. Здесь выполняется узел ROS, публикующий тему с сообщениями, содержащими цветное изображение и карту глубины. Задача визуальной коммуникации робота, т. е. возможности контекстуальной интерпретации роботом информации, принимаемой посредством визуального сенсора, выполняется на удалённой стационарной ЭВМ с мощным центральным процессором и видеопроцессором, поддерживающим параллельные вычисления CUDA. На данном устройстве работает узел ROS, конвертирующий получаемые с сенсора изображения и карту глубины в совместимые с `OpenCV` классы. После этого изображения подвергаются предварительной обработке. Далее с использованием хаароподобных вейвлетов [6] и гистограмм направленных градиентов [7] определяется наличие и положение людей на изображении. Этим же узлом публикуется тема с координатами выявленных людей.

В качестве устройства управления двигателями шасси мобильной платформы и поворотного устройства используется плата Arduino Mega. Эта плата связана с платой управления и коммутации Intel Edison посредством УАПП (универсальный асинхронный приемопередатчик) протокола при помощи узла `rosserial`. Плата управления и коммутации связывает между собой узел стационарной ЭВМ с узлом, отвечающим за визуальную регистрацию (рис. 2).

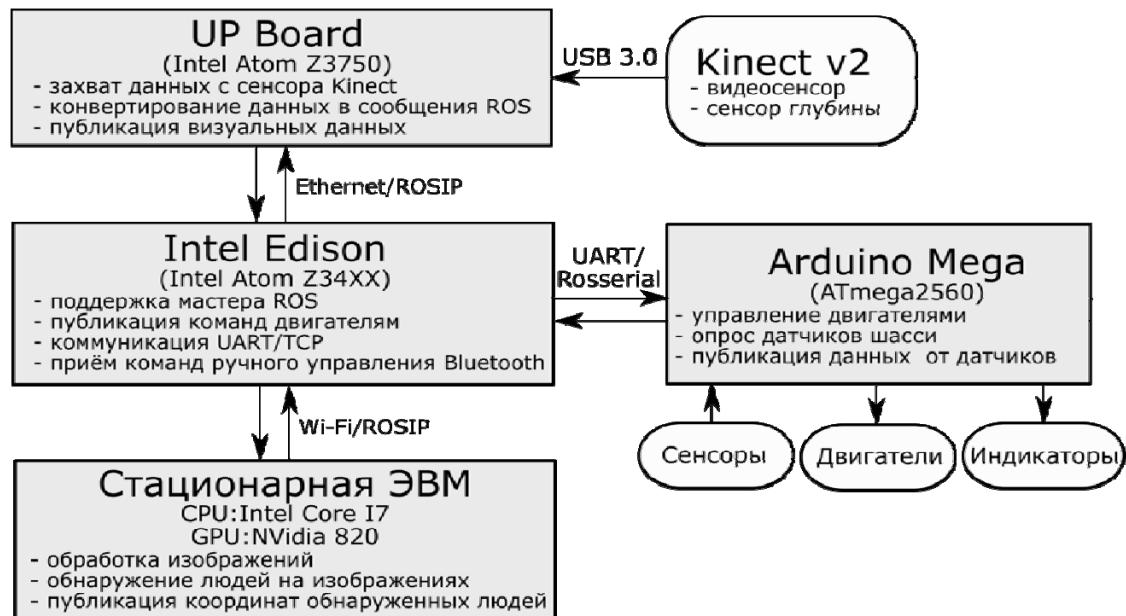


Рис. 2. Схема реализации взаимодействия узлов ROS

Большинство библиотек ROS реализованы для языков Python и C+. Такой подход позволяет ROS легко интегрироваться с различными архитектурами и строить системы различной сложности поверх нее. В результате проведённой работы было разработано мобильное роботизированное устройство способное обнаруживать и отслеживать людей, находящихся в зоне видимости сенсоров. Его функциональность в дальнейшем беспрепятственно может быть расширена в виду того, что используемая платформа позволяет модифицировать модули взаимодействия с окружающей средой, вносить изменения в алгоритмы обработки данных каждого узла независимо от работы других узлов.

#### Список используемых источников

1. Daza I. G., Pascual L. M. B., V'azquez M. A. S., Guillen E. L., Navarro R. B., V'azquez L. B. Low Level Control in States Space for the Pioneer // The International Conference on Computer as a Tool. 2005. V. 1. pp. 322–325.
2. Bruyninckx H. Open Robot Control Software: The OROCOS Project // International Conference on Robotics and Automation, 2001. pp. 2523–2528.
3. Ando N. RT-Middleware: Distributed Component Middleware for RT (Robot Technology) // In: International Conference on Intelligent Robots and Systems. 2005. pp. 3933–3938.
4. Soohie, H. A. N. Open Software Platform for Robotic Services // Transactions on Automation Science and Engineering. 2012. pp. 467–481.
5. Quigley M. ROS: An open-source Robot Operating System // ICRA Workshop on Open Source Software. 2009. Vol. 3. No. 3.2.
6. Viola P., Jones M., Snow D. Detecting pedestrians using patterns of motion and appearance. // Proceedings of International Conference on Computer Vision. Washington DC, USA, 2003. pp. 734–741.

7. Dalal N, Triggs B. Histograms of oriented gradients for human detection // Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. San Diego, CA, USA, 2005. pp. 886–893.

*Статья представлена научным руководителем, кандидатом технических наук, доцентом А. Н. Бучатским.*

УДК 621.397

## ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ КАЧЕСТВА СИГНАЛА, КОНТРОЛИРУЕМЫЕ В СИСТЕМАХ ЦИФРОВОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ

С. Л. Федоров

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

*При эксплуатации систем цифрового телевизионного вещания необходимо контролировать ряд параметров, анализ значений которых позволяет обнаружить на ранней стадии возможные проблемы и избежать потери цифрового телевизионного сигнала на приемной стороне. Необходимо обратить внимание на так называемые параметры основной полосы (уровень транспортного потока) и параметры, относящиеся к высокочастотной части ТВ системы.*

*DVB, цифровое телевидение, измерения, параметры качества цифрового ТВ сигнала, MER, BER, Eb/No, запас по помехоустойчивости, сигнальное созвездие.*

При воздействии шумов и помех на распространяемый сигнал современные цифровые системы телевизионного (ТВ) вещания (кабельные, спутниковые, наземные) ведут себя совершенно по-другому в сравнении с аналоговыми. Так при приеме аналогового ТВ сигнала качество изображения может быть изменено за счет манипуляций с приемной антенной. Даже если качество изображения остается плохим, а программа представляет определенный интерес, зритель, как правило, будет продолжать смотреть ее, пока есть звуковое сопровождение.

При потере цифрового ТВ сигнала путь восстановления не всегда очевиден. Проблема может быть вызвана ошибками в транспортном потоке MPEG-2 или падением мощности радиочастотного (РЧ) сигнала ниже определенного порога, которое может быть связано: с проблемами со спутниковой антенной и малошумящим усилителем, отражениями и интерференцией РЧ сигнала, с шумами и помехами в канале, с проблемами в кабельном усилителе или модуляторе. Одним из путей решения является

производство ТВ-приставок более чувствительных к приему ослабленного сигнала.

Помимо ошибок транспортного потока MPEG-2, которые делятся на три приоритета [1], основными параметрами, которые следует контролировать в системах цифрового телевидения, являются:

1. Мощность РЧ сигнала. Измеряют на входе или выходе ВЧ преобразователя тепловым датчиком в заданной полосе пропускания, используя калиброванный ответвитель. При использовании спектроанализатора или измерительного приемника мощность сигнала оценивается в номинальной полосе пропускания сигнала.

2. Коэффициент ошибок ( $BER$ ).

3. Коэффициент ошибок модуляции ( $MER$ ). «Ранний» индикатор деградации сигнала. Измеряется в дБ.

4. Амплитуда вектора ошибок ( $EVM$ ). Параметр, аналогичный  $MER$ , но выражается в процентах.

5. Флаг транспортной ошибки ( $TEF$ ). Показывает, что не все ошибки исправлены помехоустойчивым кодом.

6. Отношение энергии бита к спектральной плотности мощности шума ( $E_b/N_0$ ). Измеряется в дБ.

7. Параметр, характеризующий запас по помехоустойчивости ( $LKM$ ,  $Margin$ ). Измеряется в дБ.

8. Вид диаграммы созвездия. Несмотря на то, что это не относится к общепринятому понятию «параметр», искажение вида созвездия характеризует состояние линии связи и характеристик модулятора, что также немаловажно.

Ниже будут более подробно рассмотрены некоторые указанные параметры.

Коэффициент ошибок ( $BER$ ) – отношение количества ошибочно принятых бит к общему числу принятых бит. Различают три вида коэффициента ошибок (рис. 1):  $BER$  перед внутренним декодером помехоустойчивых кодов ( $CH\ BER$ ),  $BER$  перед внешним декодером помехоустойчивых кодов ( $post\ V\ BER$ ) и  $BER$  после внешнего декодера помехоустойчивых кодов.  $PER$  – пакетный коэффициент ошибок (отношение количества ошибочно принятых пакетов к общему числу принятых пакетов).

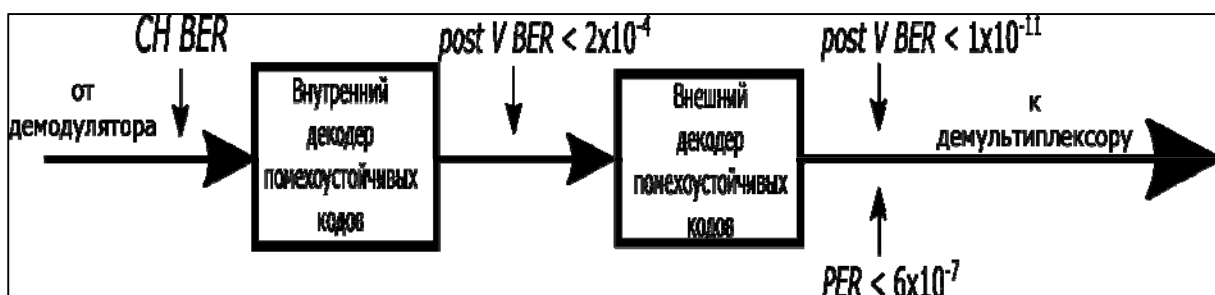


Рис. 1. Фрагмент приемного устройства

С приближением системы к «точке срыва»  $CH\ BER$  увеличивается постепенно,  $post\ V\ BER$  более круто и  $BER$  после внешнего декодера – очень круто. В результате, выдается предупреждение, но, как правило, слишком поздно, чтобы предпринимать какие-либо необходимые корректирующие действия. Целесообразно, использовать измерение  $BER$  для идентификации периодических и кратковременных нарушений.

Типичные значения для  $CH\ BER$ :  $1 \times 10^{-9}$  (без ошибок),  $2 \times 10^{-4}$  (квазибезошибочный прием),  $1 \times 10^{-3}$  (критический  $BER$ ), больше  $1 \times 10^{-3}$  (нет сервиса (услуги)).

Коэффициент ошибок модуляции ( $MER$ , дБ):

$$MER = 10 \lg \left[ \frac{\sum_{j=1}^N (I_j^2 + Q_j^2)}{\sum_{j=1}^N (\delta I_j^2 + \delta Q_j^2)} \right], \quad (1)$$

где  $N$  – количество векторов,  $(I_j, Q_j)$  – компоненты идеального вектора (координаты принимаемого символа),  $(\delta I_j, \delta Q_j)$  – компоненты вектора ошибок.

Коэффициент ошибок модуляции ( $MER$ ) указывает на ухудшение сигнала на входе приемника и позволяет оценить способность этого приемника правильно декодировать сигнал.

В сущности, сравнивается фактическое местонахождение принятого символа с его идеальным расположением. Как следует из формулы (1), чем больше деградация сигнала, тем меньше  $MER$ .

Взаимосвязь  $MER$  и  $CH\ BER$  показана на рис. 2.

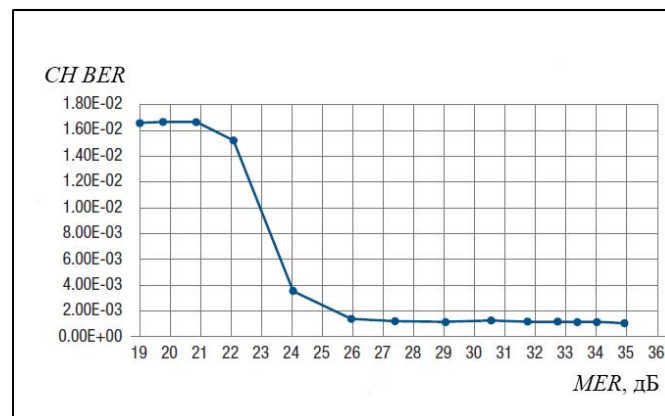


Рис. 2. Зависимость  $CH\ BER$  от  $MER$

Результаты, представленные на рис. 2 были получены опытным путем [2]. При отсутствии шума  $MER = 35$  дБ. При введении шума и увеличения его уровня  $MER$  постепенно уменьшается, а  $CH\ BER$  практически не изменяется. При достижении  $MER = 26$  дБ,  $CH\ BER$  начинает увеличиваться и его значение уже соответствует невозможности приема ТВ сигнала. Таким образом,  $MER$  «фиксирует» постепенную деградацию системы задолго до достижения «точки срыва».

Параметр  $EVM$  (амплитуда вектора ошибок) аналогичен  $MER$ , но выражаются по-разному:

$$EVM_{\text{СКВДР}} = \sqrt{\frac{\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (\delta I_j^2 + \delta Q_j^2)}{S_{\text{max}}^2}} 100, \%,$$

где  $S_{\text{max}}$  – максимальное значение модуля векторов ( $I, Q$ ).

$EVM$  увеличивается по мере деградации системы, а  $MER$  уменьшается.

Внешний вид диаграммы созвездия может дать информацию о том, что происходит при передаче сигнала. Ниже приведены диаграммы и указываются причины возникновения искажений:

1. Амплитудный дисбаланс. Разница в усилении между синфазной и квадратурной составляющих созвездий формируют диаграмму в виде прямоугольника, вместо квадрата.

2. Квадратурная ошибка «отталкивает» символы посадочных точек ближе к границам, снижая, тем самым, шумовой порог (*margin*). Это происходит, когда  $I$  и  $Q$  не расположены точно под углом  $90^\circ$ . В результате, диаграмма теряет свою квадратность и принимает вид параллелограмма или ромба.

3. Шумовые ошибки. В результате воздействия шумов принимаемые символы в «ячейке» отходят от идеальных положений.

4. Амплитудные искажения. Происходит округление угловых граней по обеим квадратурным осям. Они возникают, если модулятор или система оптической передачи работают на пределе своих возможностей. Такое происходит на более высоких амплитудных уровнях. Диаграмма отображается в виде сферы или рыбьего глаза.

5. Когерентная интерференция. Диаграмма получается в виде массива колец или «пончиков».

6. Фазовый шум (джиттер по осям  $I$  и  $Q$ ). Генератор несущей или локальный генератор в цепи прохождения сигнала добавляют фазовый шум.

Необходимо отметить, что амплитудные искажения и фазовые ошибки в современных модуляторах незначительны.

Еще один параметр, который целесообразно измерять при внедрении и эксплуатации систем ТВ вещания –  $LKM$ , дБ, или *margin*, дБ, характеризующий запас по помехоустойчивости:

$$LKM = \frac{E_b}{N_0} - \frac{E_b \text{ порог}}{N_0 \text{ порог}},$$

где  $E_b/N_0$  – отношение энергии бита ( $E_b$ ) к спектральной плотности мощности шума ( $N_0$ ), значение  $E_b \text{ порог}/N_0 \text{ порог}$  достигается при  $BER = 1 \times 10^{-7}$ .

Как известно, в цифровых системах связи параметр  $E_b/N_0$  используется как нормированная версия отношения сигнал-шум  $S/N$ :

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{ST_b}{N/W} = \frac{S/R}{N/W},$$

где  $T_b$  – время передачи бита информации,  $W$  – ширина полосы,  $R$  – битовая скорость.

В таблице приведены типичные значения некоторых рассмотренных параметров.

ТАБЛИЦА. Значения параметров на приемной стороне

Параметр	Стандарт DVB-S2 (для 8PSK)		Стандарт DVB-T2 (для COFDM, 256QAM)	
	Минимальное значение	Типичное значение	Минимальное значение	Типичное значение
Средний уровень мощности сигнала, дБмкВ	40	50	40	50
$LKM$ , дБ	3	6	6	9
$PER$ , не более	$1 \times 10^{-7}$	$1 \times 10^{-8}$	$1 \times 10^{-7}$	$1 \times 10^{-8}$
$MER$ (FEC 2/3), дБ	11	14	25	28
$MER$ (FEC 3/4), дБ	12	15	26,5	29,5
$MER$ (FEC 5/6), дБ	13	16	28,5	31,5

#### Список используемых источников

1. ГОСТ Р 52592–2006. Тракт передачи сигналов цифрового вещательного телевидения, звенья тракта и измерительные сигналы. Общие требования. М.: Стандартинформ, 2006. 50 с.: ил.

2. Critical RF Measurements in Cable, Satellite and Terrestrial DTV Systems. Application Note [Электронный ресурс] // URL: [http://www.tek.com/dl/2TW\\_17370\\_2\\_HR\\_0.pdf](http://www.tek.com/dl/2TW_17370_2_HR_0.pdf) (дата обращения 10.03.2017).

УДК 621.396.72

## СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ В ОБЛАСТИ ПРОГРАММНО-КОНФИГУРИРУЕМОГО РАДИО

**Г. А. Фокин**

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

*Современная тенденция проникновения программно-конфигурируемого радио в науку, производство и образование определяется появлением на рынке доступных*



и многофункциональных программно-аппаратных решений. Целью настоящей работы является обзор особенностей стандартизации в области программно-конфигурируемого радио, его использования в современном оборудовании радиосвязи и систематизация опыта использования в образовании.

*программно-конфигурируемое радио, SDR, SCA, FPGA, DSP, GPP, ASIC.*

Термин ПКР (SDR) обычно связывают с именем Джозефа Митолы и его статьей по архитектуре программно-конфигурируемого радио (ПКР) [1], с момента публикации которой прошло уже более двух десятилетий, когда он работал на Министерство обороны США. Регламентация в области ПКР тесно связана с понятием программно-определяемой архитектуры связи SCA (*Software communication Architecture*), разработанной МО США в рамках работ по единым тактическим системам радиосвязи JTRS (*Joint Tactical Radio Systems*), которые проводились с 1997 г. с целью разработки стандарта ПКР [2]. Архитектура SCA была призвана обеспечить работу систем военной радиосвязи с разными радиосигналами вне зависимости от аппаратной платформы за счет стандартизированных интерфейсов прикладного программирования API (*Application Programming Interface*). В целях унификации оборудования, производимое для нужд МО США, должно было отвечать требованиям стандарта SCA. В Европе концепция SCA также получила развитие для оборонных нужд под названием ESSOR (*European Secure Software Defined Radio*). Международной инициативой по регламентации и стандартизации в области ПКР является SDR-форум WinnF (*Wireless Innovation Forum*), где публикуются нормативные материалы рекомендательного характера [3].

Под ПКР или программно-определяемой радиосистемой (ПОР) обычно понимается радиооборудование, в котором все или большинство функций физического уровня выполняются в программном виде, а функции выполняемые аппаратно, должны оперативно модифицироваться по требованиям рабочего стандарта связи [4].

С момента его первой публикации по архитектуре ПКР прошло более двух десятилетий. Тогда практически реализуемой представлялась передача, прием и обработка сигналов в программном виде на нулевой/промежуточной частоте с последующим аппаратным переносом на промежуточную и/или радиочастоту. На сегодняшний день развитие программно-аппаратных средств ПКР позволяет говорить о возможностях обработки сигналов в программном виде непосредственно на несущей частоте радиосигнала за счет высокоскоростных АЦП, например, ADC12J4000 TI с разрядностью 12 бит и скоростью 4 Гсимв/с [5]. Но это пока единичные приложения, где стоимость и энергопотребление не являются препятствием. Большинство же современных плат ПКР используют аппаратное преобразование с РЧ на ПЧ, оцифровку на ПЧ и последующий цифровой перенос в область нулевых частот (рис. 1).

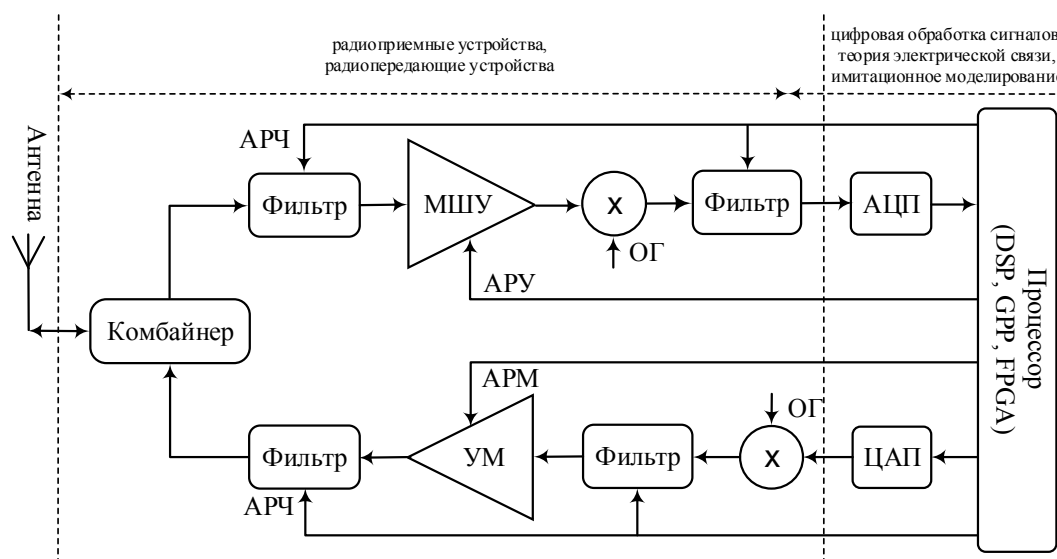


Рис. 1. Функциональная схема радиостанции программно-конфигурируемого радио и междисциплинарные связи курсов

Аппаратная часть, отвечающая за обработку радиосигнала на ВЧ/ПЧ, включает полосовые фильтры, смесители, усилитель мощности передатчика, маломощный усилитель приемника, опорные высокочастотные генераторы (ОГ) и предусматривает программно-управляемую автоматическую регулировку частоты (АРЧ) и автоматическую регулировку усиления (АРУ) и мощности (АРМ).

Программно-аппаратная часть, отвечающая за обработку низкочастотного информационного сигнала, включает преобразователи АЦП/ЦАП и процессор, реализующий программные операции по выполнению функций физического и канального уровней, таких как цифровая фильтрация, модуляция/демодуляция, частотная и тактовая (битовая) синхронизация, сборка/разборка пакетов, управление параметрами обработки радиосигнала на ВЧ/ПЧ. Аппаратура процессорной части может включать специализированные высокоскоростные программируемые логические интегральные схемы FPGA, DSP-процессоры, GPP-процессоры общего назначения.

Программная реализация алгоритмов передачи, приема и обработки сигналов радиосвязи в ПКР наиболее гибко и оперативно реализуется универсальными процессорами общего назначения GPP (*General Purpose Processor*). Показательным примером подобной успешной реализации является повышение производительности базовых станций GSM при замене их GPP на более современные в конце 90-х годов, программное обеспечение БС при этом не потребовалось менять вовсе [5]. Однако для абонентских устройств практически реализовать аналогичный эффект от использования более современных GPP оказалось затруднительным по причине существенного повышения энергопотребления и стоимости. В абонентских устройствах предпочтительным является использование комплекса аппаратных средств обработки: цифровых сигнальных процессоров DSP (*Digi-*

*tal Signal Processors*), ПЛИС FPGA и специализированных интегральных схем ASIC (табл.). Требования по производительности и энергопотреблению для операций по обработке сигналов радиосвязи в реальном времени, предъявляемые к аппаратным средствам ПКР таковы, что использование одних лишь GPP оказывается недостаточным, поэтому необходим компромисс между возможностью реконфигурации ПО и временем разработки для аппаратных средств ПКР (рис. 2).

ТАБЛИЦА. Аппаратные средства ПКР

Аппаратные средства	Требования по производительности и энергопотреблению для выполнения операций по передаче, приему и обработке сигналов радиосвязи в реальном времени
GPP	Широкие возможности сложных вычислений, хранения данных, реконфигурации ПО, высокое энергопотребление. Подходят для использования в базовых станциях
DSP	Специализированы для алгоритмов ЦОС, широкие возможности реконфигурации ПО для алгоритмов ЦОС, низкое энергопотребление. Подходят для использования в абонентских станциях
FPGA	Высокопроизводительные параллельные вычисления, возможность реконфигурации ПО, более высокое энергопотребление, чем у DSP. Подходят для использования в базовых станциях
ASIC	Высокая производительность, низкое энергопотребление, отсутствует возможность реконфигурации ПО. Подходят для использования в абонентских станциях и базовых станциях для высокопроизводительных операций

Можно констатировать, что использование единой аппаратной платформы ПКР для поддержки разных стандартов радиосвязи, вещания и навигации, таких как, 2G, 3G, 4G, WiFi, Bluetooth, GPS, FM, DVB в абонентских устройствах оказалось неконкурентоспособным [5]; в смартфонах для каждого из стандартов используется отдельная микросхема ASIC. С одной стороны, казалось бы, увеличение различных стандартов связи, вещания и навигации, должны были бы, по идее, привести к некоторому «потолку», когда для каждого из стандартов использовать отдельную микросхему ASIC в смартфоне станет нецелесообразно, однако успехи в миниатюризации, энергопотреблении и стоимости решений ASIC таковы, что в нише абонентских устройств такого потолка пока не предвидится. В базовых станциях такие возможности ПКР как широкополосность, перестраиваемость и возможность изменения ПО и, соответственно, апгрейда БС без необходимости замены аппаратного обеспечения, оказались достаточно привлекательными, несмотря на энергопотребление и стоимость.

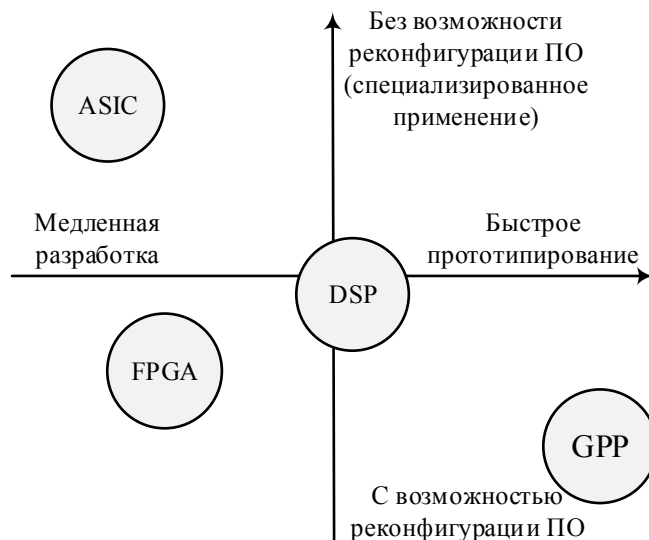


Рис. 2. Соотношение между возможностью реконфигурации ПО и временем разработки для аппаратных средств ПКР

Перспективы ПКР безусловно есть в области развития когнитивного радио, систем военной радиоразведки, радиоподавления, навигации и связи и, конечно, образования.

Анализ зарубежного опыта ряда ведущих мировых вузов позволяет говорить о возникновении новой образовательной парадигмы в области телекоммуникаций и радиосвязи, связанной с направлением ПКР [6]. С образовательной точки зрения направление ПКР является междисциплинарным и охватывает следующие курсы (рис. 1): радиоприемные устройства, радиопередающие устройства, цифровая обработка сигналов, теория электрической связи, программирование и имитационное моделирование. Интегрирующая роль курса по теоретическим основам и практическому применению ПКР заключается в развитии системного подхода в части анализа и синтеза современного приемопередатчика с возможностью программной реализации большинства функций физического уровня и заключительной апробации их работы в радиоэфире.

Научные исследования в области ПКР в СПбГУТ успешно проводятся с 2014-го года [7, 8, 9, 10]. Параллельно с научными исследованиями реализуется и образовательный процесс, при этом накопленные на сегодняшний день компетенции и имеющееся программно-аппаратное обеспечение [11] позволяют выйти за рамки факультативных занятий по основам ПКР для бакалавров на уровень более продвинутых курсов магистратуры.

#### Список используемых источников

1. Mitola J. The Software Radio Architecture // IEEE Communications Magazine, vol. 33, no. 5, pp. 26–38, May 1995.

2. Belisle C., Kovarik V., Pucker L., Turner M.. The software communications architecture: two decades of software radio technology innovation // IEEE Communications Magazine, vol. 53, no. 9, pp. 31–37, September 2015.
3. Wireless Innovation Forum URL: <http://www.wirelessinnovation.org/> (дата обращения 08.02.2017).
4. Галкин В. А. Основы программно-конфигурируемого радио. М.: Горячая линия – Телеком, 2013, 372 с.
5. Moy S., Palicot J. Software radio: a catalyst for wireless innovation // IEEE Communications Magazine, vol. 53, no. 9, pp. 24–30, September 2015.
6. Bilén S. G. et al. Software-defined radio: a new paradigm for integrated curriculum delivery // IEEE Communications Magazine, vol. 52, no. 5, pp. 184–193, May 2014.
7. Fokin G., Volgushev D., Kireev A., Bulanov D., Lavrukhin V. Designing the MIMO SDR-based LPD transceiver for long-range robot control applications // 2014 6th International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops (ICUMT), St. Petersburg, 2014, pp. 456–461.
8. Фокин Г. А. Буланов Д. В., Волгушев Д. Б. Модельно-ориентированное проектирование систем радиосвязи на основе ПКР // Вестник связи. 2015. № 6. С. 26–31.
9. Фокин Г. А., Лаврухин В. А., Волгушев Д. А., Киреев А. В. Модельно-ориентированное проектирование на основе SDR // Системы управления и информационные технологии. 2015. Т. 60. № 2. С. 94–99.
10. Волгушев Д. Б., Киреев А. В., Фокин Г. А. Модельно-ориентированный синтез систем радиосвязи на основе программно-конфигурируемого радио // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. IV Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сб. науч. ст. в 2 т. 2015. С. 50–53.
11. Воробьев О. В., Фокин Г. А. Проект учебно-методического комплекса «Модельно-ориентированное проектирование систем радиосвязи на основе программно-конфигурируемого радио» // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. V международной научно-технической и научно-методической конференции: сб. науч. ст. в 3-х т. / Под ред. С. В. Бачевского. СПб.: СПбГУТ, 2016. Т. 1. С. 280–284.

## СЕТИ СВЯЗИ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

УДК 004.716

### МИНИМИЗАЦИЯ СЛУЖЕБНОЙ НАГРУЗКИ ПРИ ЗОНДОВОМ УПРАВЛЕНИИ ПОТОКАМИ ДАННЫХ В СЕТЯХ СВЯЗИ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

М. Ю. Аванесов<sup>1</sup>, Т. Н. Карабанова<sup>2</sup>, А. А. Петров<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ЗАО «Институт телекоммуникаций»

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет  
информационных технологий, механики и оптики

*Сети связи специального назначения имеют повышенные требования к устойчивости, что обуславливает применение специальных методов управления потоками данных, таких как зондовое управление. В статье рассматривается вариант решения самой главной проблемы, возникающей при использовании зондовых методов, – перегрузки сети служебной информацией, возникающей из-за чрезмерного разрастания длины зондовой посылки.*

*сети связи, маршрутная информация, безадресное зондирование, служебная нагрузка.*

В настоящее время существует множество методов управления потоками данных в сетях связи, выбор конкретного метода осуществляется исходя из приоритетов требований, предъявляемых к сети, обусловленных особенностями ее функционирования [1, 2]. Можно утверждать, что сети связи специального назначения имеют определенную специфику, которая выражается в появлении особых требований и ограничений, а именно [3]:

- 1) повышенные требования к живучести сети;
- 2) повышенные требования к готовности сети к передаче информации;
- 3) ограничения на объем служебной нагрузки.

Исследования показали, что наилучшим образом в условиях перечисленных требований и ограничений показывает себя зондовый метод управления потоками данных [4]. Суть этого метода заключается в следующем: с любого узла сеть зондируется небольшими пакетами, называемыми зондами, осуществляющими накопление в себе информации о состоянии сети.

При получении зонда узел анализирует информацию о пути прохождения зонда, на основе которой добавляет записи в собственные матрицы, в которых содержится маршрутная информация, после чего проверяет ряд условий и рассылает зонд по всем исходящим ветвям.

Если зонд прибыл в узел  $k$  первым, то на узле принимается решение о начале нового цикла зондирования, в зонд заносится информация о прохождении узла  $k$ , дополненный зонд рассылается по всем исходящим ветвям, каналу, по которому принят зонд, приписывается маршрут первого выбора ко всем узлам, адреса которых вписаны в зонд, на узле сохраняется вся необходимая информация, содержащаяся в зонде.

Если зонд прибыл в узел  $k$   $i$ -м, номер ребра по которому принят зонд, дополняется в свободное место в матрице маршрутов для каждого узла, адрес которого вписан в зонд. Далее если информация, содержащаяся в зонде, присутствовала на узле до получения зонда, зонд уничтожается. В противном случае, если зонд не содержит циклов, он дополняется адресом узла  $k$ , и рассылается по всем исходящим ветвям. Если зонд содержит циклы, он дополняется адресом узла  $k$ , и рассылается по всем исходящим ветвям кроме той, по которой был принят.

Матрица маршрутов  $v$ -го узла представляет собой прямоугольную матрицу, в которой столбцы соответствуют узлам, до которых проложен маршрут, строки – номерам приоритета выбора выходного канала (порта) для передачи данных по маршруту, а элементы содержат номера выходных каналов (портов):

$$M_v = \left\| m_{gs}^v \right\|_{Q^v \times N}, v \in N, s \in N, v \neq s, g \in Q^v, m \in Q^v,$$

где  $N$  – множество узлов в сети;  $Q^v$  – множество выходных каналов (портов) узла  $v$ ;  $m_{gs}^v$  – элемент матрицы маршрутов узла  $v$ , соответствующий номеру выходного канала (порта), через который проходит маршрут  $g$ -го выбора к вершине  $s$ .

Моделирование функционирования сети с реализацией предлагаемого метода показало [5], что при выполнении на каждом узле данных операций обеспечивается построение полных матриц маршрутов на каждом узле сети.

На рис. 1 изображен граф фрагмента сети: номер вершины соответствует порядковому номеру узла, каждое ребро характеризуется временем

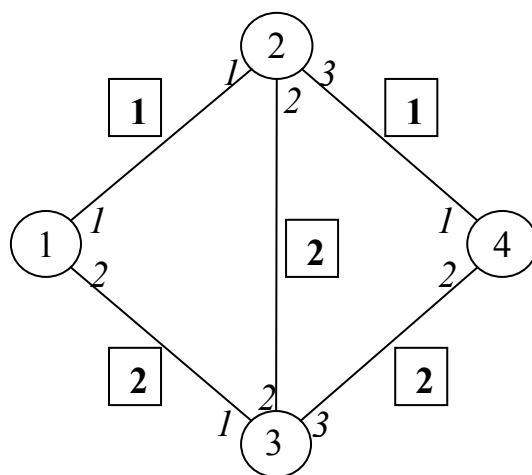


Рис. 1. Фрагмент сети

передачи зонда, инцидентные ребра у каждой вершины пронумерованы и соответствуют номерам каналов (портов) узла.

На базе зондового метода может быть реализовано множество различных алгоритмов, позволяющих, в зависимости от допустимого уровня служебной нагрузки, осуществить построение матрицы смежности и матрицы весов графа сети на каждом узле. Наименьшей служебной нагрузкой обладает алгоритм безадресного зондирования, описанный ниже.

Минимизация служебной нагрузки при безадресном зондировании обеспечивается за счет того, что используются не адреса узлов, а их порядковые номера. Зонд представляет собой набор флагов, общее количество которых совпадает с количеством узлов. Установка флага в позиции, соответствующей порядковому номеру узла, соответствует прохождению зондом данного узла. Пример зонда, прошедшего через узлы 1, 3 и 4, приведен на рис. 2:

Очевидно, что размер зонда при безадресном зондировании зависит от количества узлов. Для фрагмента, приведенного на рис. 1, каждый зонд будет иметь размер 4 бита (полбайта).

	1	2	3	4
	1	0	1	1

Рис. 2. Пример зонда, прошедшего через узлы 1, 3 и 4

Селекция зондов при безадресном зондировании осуществляется по принципу наличия информации о каждом узле, флаг которого установлен в зонде. Так зонд, пример которого приведен на рис. 2, пройдет селекцию, если информация об узлах 1, 3 и 4 отсутствовала в матрице маршрутов на узле, принявшем данный зонд.

В таблице проиллюстрирован пример безадресного зондирования сети, изображенной на рис. 1, с узла 1.

ТАБЛИЦА. Пример безадресного зондирования

Шаг	1	2	3	4
1		1000(1)		
2	1100(1)		1000(1)	1100(1)
3		1101(3)	1100(2)	
4	1010(2) 1101(1)	1010(2)	1100(1) 1101(3)	1010(2)
5	1110(2) 1110(1)	1110(2) 1010(1) 1011(3)	1101(2)	1110(2) 1110(1)
6	1111(1) 1111(2)	1110(1) 1111(2)	1101(1) 1110(2) 1011(3)	1111(1) 1111(2)
7		1111(1)	1110(2) 1111(2)	
8			1111(1)	



Столбцы таблицы обозначают номера узлов, принявших зонд. Содержимое зонда указано в ячейках таблицы. В скобках указывается номер ветви (порта), по которой принят зонд. Желтым цветом выделены зонды, которые не имеют циклов и рассылаются по всем инцидентным ветвям. Без выделения указаны зонды, которые содержат циклы и рассылаются по всем инцидентным ветвям кроме той, по которой зонд был доставлен в узел. Перечеркнуты зонды, которые не прошли селекцию.

Матрицы маршрутов, полученные в результате безадресного зондирования фрагмента сети, приведены на рис. 3.

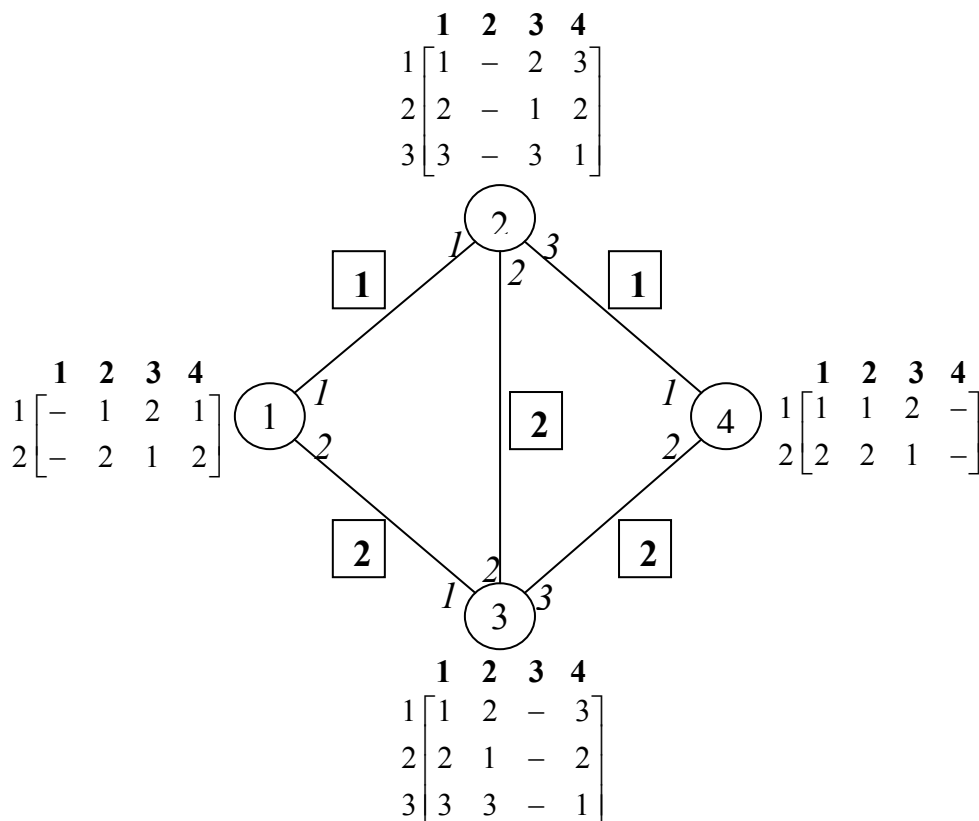


Рис. 3. Матрицы маршрутов, полученные в результате безадресного зондирования фрагмента сети

Как видно из рис. 3, в результате безадресного зондирования с одного узла на каждом узле сети сформированы полные матрицы маршрутов, учитывающие все возможные обходные маршруты.

Максимальное количество зондов, которое может быть в сети при безадресном зондировании можно оценить следующим образом. Обозначим  $N$  – количество узлов,  $d_{cp}$  – среднее количество инцидентных каждому узлу ветвей. Зонды генерируются в двух случаях:

1) если зонд не имеет циклов и содержит информацию о новом узле: таких зондов может быть не более:

$$Z_1 \leq N(N-1) \cdot d_{\text{cp}};$$

2) если зонд имеет циклы и содержит информацию о новом маршруте: таких зондов может быть не более:

$$Z_2 \leq N(N-1) \cdot d_{\text{cp}}(d_{\text{cp}} - 1) - N(N-1) \cdot d_{\text{cp}};$$

Тогда общее количество зондов, передаваемых за один цикл безадресного зондирования, не может превышать:

$$Z \leq Z_1 + Z_2 \leq N(N-1) \cdot d_{\text{cp}}(d_{\text{cp}} - 1).$$

Среднее количество зондов, которые необходимо передать по одному каналу за один цикл безадресного зондирования не может превышать:

$$z \leq \frac{Z}{Nd_{\text{cp}}} \leq \frac{2(N-1)(d_{\text{cp}} - 1)}{2}.$$

Количество бит одного зонда равно количеству узлов в сети. Тогда общее количество служебного трафика, приходящегося на один канал:

$$Tr_{\text{сл}} \leq \frac{N(N-1)(d_{\text{cp}} - 1)}{4}, \text{ байт.}$$

Если принять, что в сети  $N = 16$ ,  $d_{\text{cp}} = 4$  (всего 16 узлов, каждый узел имеет по 4 канала связи), то служебная нагрузка на один канал связи не превысит 180 байт.

### *Заключение*

Таким образом, применение алгоритма безадресного зондирования на базе зондового метода оперативного управления потоками данных позволяет обеспечить построение полных матриц маршрутов на каждом узле сети при минимальной нагрузке на сеть служебной информацией. За счет минимального служебного трафика обеспечивается максимальная пропускная способность сети, устойчивость зондовых обеспечивает максимальную живучесть сети, а решение задачи построения полного плана распределения потоков данных за один цикл зондирования обуславливает повышенную готовность сети к передаче данных.

### **Список используемых источников**

1. Azzedine Boukerche. Algorithms and protocols for wireless, mobile ad hoc networks. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2009. 495 p.
2. Орлов В. Г., Фадеев А. Н. Протоколы маршрутизации в мобильных Ad hoc-сетях // Материалы Международной научно-технической конференции INTERMATIC–2012. М.: МИРЭА. С. 208–212.

3. Легков К. Е. К вопросу организации управляющей информационной сети автоматизированных систем управления инфокоммуникационными системами и сетями специального назначения // Информация и Космос. 2015. N 2. С. 12–15.

4. Аванесов М. Ю., Присяжнюк С. П. Оперативное управление потоками данных в мультисервисных сетях связи. СПб.: Изд-во БГТУ, 2007. 81 с. ISBN 978-5-85546-313-2.

5. Аванесов М. Ю. Адаптивная проактивная маршрутизация с минимальной служебной нагрузкой в беспроводных самоорганизующихся сетях // Информация и Космос. 2014. N 3. С. 4–8.

УДК 004.032.26.519.7

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ К ОТКАЗАМ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ КОРРЕКТИРУЮЩИХ СПОСОБНОСТЕЙ КОДОВ

**А. В. Александрова, А. К. Сагдеев, Н. И. Севостьянова**

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

*Применение полиномиальной системы классов вычетов позволяет повысить не только скорость обработки сигналов, но и обеспечить высокую информационную надежность вычислений. Однако, обладая хорошим реализационными свойствами, модулярные коды полиномиальные системы классов вычетов не нашли широкого применения, а их корректирующие способности исследованы частично. Поэтому разработка математических моделей отказоустойчивых вычислительных средств, функционирующих в полиномиальной системе классов вычетов, является актуальной задачей.*

*полиномиальная система, скорость обработки сигналов, отказоустойчивость.*

Анализ технических реализаций алгоритмов ЦОС показывает, что архитектура специализированного процессора, его функциональные характеристики, прежде всего, определяются алгебраической системой, на базе которой строится цифровая обработка сигналов. Таким образом, правильный выбор алгебраической системы является мощным средством повышения устойчивости функционирования вычислительных устройств ЦОС. Большое значение при этом имеет также способность системы счисления аккумулировать свою естественную (первичную) избыточность и вводимую дополнительную (вторичную) избыточность [1, 2, 3].

Основную массу вычислительных устройств ЦОС составляют СП, базирующиеся на математических моделях с позиционной системой счисления (ПСС). В ПСС выполнение арифметической операции полагает последовательную обработку разрядов операндов по правилам, определяе-

мым содержанием данной операции, и не может быть закончено до тех пор, пока не будут определены последовательно значения результатов с учетом всех связей между разрядами. Таким образом, ПСС, являясь основой современных вычислительных средств, имеет строго последовательную структуру, обладает минимальной первичной избыточностью. Это в свою очередь обуславливает необходимость принятия дополнительных мер по введению вторичной избыточности, что накладывает существенный отпечаток на способы реализации обеспечения отказоустойчивости вычислительных систем в процессе функционирования.

По способу ведения вторичной (структурной, информационной и т. д.) избыточности существующие методы повышения устойчивости функционирования СП ПСС цифровой обработки информации можно разделить на два основных класса. К первому из них относятся методы обеспечения отказоустойчивости, реализующие различные варианты кодирования данных. Несмотря на свою привлекательность с точки зрения обеспечения информационной надежности, позиционные коды, как правило, не обладают арифметичностью. Именно это свойство специальных кодовых конструкций препятствует их широкому применению в вычислительных устройствах ЦОС, поскольку введенные избыточные разряды не позволяют контролировать результаты арифметических операций в реальном масштабе времени.

Ввиду указанного обстоятельства в последние годы наблюдается рост исследований в сфере разработки кодов, обладающих арифметичностью. При этом повышенный интерес представляют кодовые конструкции, реализующие различные варианты переменного масштабирования, которые позволяют сокращать количество разрядов при представлении числовой информации в ПСС. За счет этого удастся ввести дополнительные разряды для организации аппаратного оперативного контроля при наличии ограничений на увеличение веса, габаритов и стоимости. При этом можно маневрировать точностью, скоростью и надежностью вычислений. Однако, несмотря на взрослые технические возможности современной микроэлектронной технологии, вопросы схемной реализации методов переменного масштабирования разработаны недостаточно, вследствие чего, и ограничено широкое их использование для решения задач цифровой обработки сигналов.

Довольно большую известность получили методы обеспечения отказоустойчивости позиционных вычислительных система второго класса. Важнейшая особенность данных методов заключается в возможности организации пространственного распределения совмещенных во времени вычислительных процессов цифровой обработки информации или их составляющих. Обращаясь к машинным алгоритмам, базирующимся на многопроцессорной структуре вычислительного устройства, легко заменить, что благодаря параллелизму на уровне вычислительных процессов повы-

шается не только производительность, но и отказоустойчивость системы. Параллельные вычислительные процедуры являются идеальной основой для синтеза устойчивых к отказам вычислительных систем. Ключевую роль в процессе построения таких вычислительных устройств играет способность сохранения работоспособного состояния за счет снижения в допустимых пределах каких-либо показателей качества при возникновении отказов в системе. Достоинства данного подхода к выполнению процедур обеспечения отказоустойчивости реализуется в полной мере при перераспределении исходных данных и сохранившихся вычислительных ресурсов при деградации структуры. В тоже время многопроцессорные вычислительные устройства обладают рядом существенных недостатков, которые сужают сферу их применения. Основными из них являются:

- значительные аппаратные и программные затраты необходимые на реализацию вычислительной системы;
- необходимость разработки новых алгоритмов ЦОС, обладающих полным параллелизмом;
- сложность реализации процедур поиска и локализации ошибок в процессе вычислений;
- возможность потери части обрабатываемых данных при восстановлении работоспособной структурной конструкции вычислительной системы.

Таким образом, применение рассмотренных выше методов обеспечения устойчивости функционирования цифровых устройств, базирующихся на принципах распараллеливания на уровне вычислительных процессов, является нецелесообразным.

Ввиду изложенного вполне понятен интерес исследователей к нетрадиционным системам счисления, в частности, фибоначчиеву счислению. Фибоначчьева арифметика, являясь, с одной стороны, обобщенной идеей классической двоичной арифметики и, сохраняя все ее арифметические и технические преимущества, с другой стороны – обладает новым качеством, заключающимся в способности обнаруживать и корректировать ошибки. Обладая многозначностью представления одного и того же числа, обусловленной законом весообразования, данная система счисления легко эмулирует процедуры контроля в рамках классической схемы. Однако широкое использование фибоначчьево счисления, как основы построения математической модели вычислительных систем цифровой обработки сигналов, сдерживается отсутствием эффективных методов коррекции искаженных кодовых конструкций. Следовательно, применение избыточной системы счисления Фибоначчи для построения высокоскоростных отказоустойчивых вычислительных устройств цифровой обработки сигналов является нецелесообразным.

Таким образом, очевидно одно из основных противоречий: с одной стороны, постоянный рост требований к скоростным и точностным характеристикам нейросетевых специализированных устройств ЦОС для систем передачи и обработки информации приводит к необходимости организации параллельных вычислений в алгебраических системах, поддерживающих целочисленную арифметику, а, с другой стороны, при этом увеличивается частота возникновения отказов, и возрастает время простоя системы контроля и управления доступом, вызванное трудностью отыскания неисправности.

Выход из указанной ситуации может быть найден на пути применения алгебраических систем конечного поля и кольца для реализации цифровых систем обработки информации, базирующихся на максимально независимых функциональных компонентах вычислительных средств и обладающих рядным характером распространения ошибок при выполнении последовательности арифметических операций.

Обобщая отмеченное выше, можно сделать вывод, что основные проблемы использования методов ЦОС для первичной обработки сигналов в современных инфотелекоммуникационных системах являются:

- высокая вычислительная сложность алгоритмов ЦОС;
- низкий процент использования математических моделей ЦОС, обладающих свойством кольца или поля и характеризующихся параллельной структурой вычислений;
- низкая устойчивость вычислительных устройств ЦОС, реализованных в нейросетевом базисе;
- отсутствие методов реконфигурации структуры параллельно СП ЦОС, применение которых позволяло бы сохранять работоспособное состояние вычислительного устройства при возникновении отказов за счет снижения в допустимых пределах основных показателей качества функционирования.

#### Список используемых источников

1. Калмыков И. А. Математические модели нейросетевых отказоустойчивых вычислительных средств, функционирующих в полиномиальной системе классов вычетов / Под ред. Н. И. Червякова. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. 276 с.
2. Калмыков И. А., Щелкунова Ю. О., Гахов В. Р. Применение полиномиальной системы класса вычетов для повышения отказоустойчивости биометрических систем аутентификации // Известия ТРТУ. 2003. № 4. С. 151–155.
3. Петлеванный С. В., Сагдеев А. К. Применение корректирующих способностей кодов для обеспечения отказоустойчивости // Современные наукоемкие технологии. 2007. № 4. С. 41–42.

УДК 621.391

## МОРФОЛОГИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ АЭРОМОБИЛЬНОЙ СЕТИ СВЯЗИ НА БАЗЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ РИСКОВ

**А. В. Ананьев**

Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил  
«Военно-воздушная академия им. профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина»

*Предложен метод синтеза структуры аэромобильной сети связи на базе беспилотных летательных аппаратов, опирающийся на принципы системного и морфологического подходов, теорию рисков. На основе анализа целевых задач аэромобильной сети связи на базе беспилотных летательных аппаратов и перечня угроз ее устойчивого функционирования, предложен обобщенный функциональный состав аэромобильной сети связи, подлежащий оптимизации.*

*аэромобильная сеть связи, беспилотный летательный аппарат, системный подход, морфологический подход, теория рисков.*

Обеспечение устойчивого информационного обмена, в условиях огневого и функционального поражения, при одновременной необходимости сохранения высокой мобильности, пропускной способности, является актуальной задачей. Для решения этой задачи в работе [1] предложена аэромобильная сеть связи (АСС) на базе беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Известны также аналогичные работы в которых проводятся эмпирические рассуждения о техническом облике тактических сетей связи на БПЛА, при этом остается открытым вопрос о разработке научно-методического аппарата обоснования состава АСС на базе БПЛА.

*Цель работы:* разработка метода синтеза структурной модели АСС на базе БПЛА на основе составления и анализа совокупности деструктивных и дестабилизирующих воздействий и решаемых целевых задач.

АСС на базе БПЛА является сложной технической системой, функционирующей в условиях разрушающих воздействий (РВ), задача синтеза которой тяжело поддается формализации. Поставленную задачу целесообразно рассматривать как четвертую, наиболее сложную проблему системно-кибернетических исследований [2]: **проблему выбора**. При этом создание модели АСС на базе БПЛА укладывается в подпроблему выбора структурных характеристик (параметров) системы.

В работе предлагается решать увязанную проблему в три этапа: уточнить целевое предназначение АСС, провести анализ совокупности РВ и на этой основе предложить структурный состав АСС.

Целевое предназначение АСС на базе БПЛА [1] включает решение следующих основных задач: организация радиосвязи воздушной, наземной и морской группировок в сложных условиях ведения боевых действий, в том числе при необходимости воздушной ретрансляции информационных потоков в условиях высокой эффективности средств ПВО противника, когда применение традиционных видов ретрансляторов затруднено.

В качестве физических РВ для вооруженной борьбы с АСС на базе БПЛА могут применяться средства воздушного нападения, оснащенные управляемым и неуправляемым оружием. С земли БПЛА могут поражаться средствами ПВО, такими как: скорострельные зенитно-пулеметные установки и их варианты, зенитные ракетные комплексы, переносные зенитные ракетные комплексы, зенитные ракетно-пушечные комплексы, а также средства радиоэлектронного поражения. В качестве информационных РВ могут использоваться современные средства радиоэлектронного подавления. Кроме того, возможно вмешательство в канал радиуправления. Помимо преднамеренных РВ необходимо также взять во внимание и непреднамеренные, такие как ветровые возмущения, нарушения связи по причине высокой скорости движения воздушных судов, непреднамеренные внутрисистемные помехи, и т. д. Очевидно, что опасность угроз, исходящих от различных РВ неравнозначна, и возможность учета полного их спектра затруднительна, особенно по причине существенных ограничений по массе полезной нагрузки БПЛА. В связи с этим целесообразно ранжировать РВ в порядке убывания степени опасности.

На основе проведенного анализа целевых задач и РВ предложен структурный состав АСС на базе БПЛА (рис.). Предполагается, что основу АСС на базе БПЛА составит транспортная MESH-сеть, основным назначением которой является обеспечение информационного обмена внутри АСС, при этом для интеграции в общую систему связи Вооруженных сил необходимо предусмотреть формирование информационных шлюзов. Транспортная MESH-сеть в совокупности со шлюзами должна обеспечить выполнение целевых задач, указанных выше.

В морфологической таблице цепочкой связанных альтернатив в квадратных скобках показан один из вариантов рассматриваемой АСС. Общее число всевозможных вариантов  $N$ , образующих морфологическое множество, определяется как множество декартова произведения множеств альтернатив, образованных каждой строкой морфологической таблицы (см. ниже):

$$N = \prod_{l=1}^L K_l \cdot$$



где  $K_l$  – число способов (альтернатив) для реализации  $l$ -го компонента системы;  $L$  – число всех компонентов.



Рисунок. Основные РВ и структурный состав АСС на базе БПЛА

Для анализа возможных вариантов построения АСС составим морфологическую таблицу, соответствующую множеству вариантов АСС на базе БПЛА (табл., см. ниже).

Морфологическое множество является областью поиска в пространстве размерностью  $L$ . Генерируемый вариант АСС на базе БПЛА представляет выборку альтернатив по одной из каждой строки морфологической таблицы и в общем виде записывается следующим образом:

$$A_i = \{A_{1j}, A_{2j}, \dots, A_{Ln}\},$$

где  $i = 1, 2, \dots, K_1$ ;  $j = 1, 2, \dots, K_2, \dots, n = 1, 2, \dots, K_L$ . Правила генерации вариантов АСС таково, что каждый целостный вариант отличается от любого другого варианта рассматриваемого морфологического множества хотя бы одной альтернативой  $A_{Lm}$ . При формировании множества допустимых альтернативных вариантов АСС  $A_D$  должны учитываться ограничения на структуру, параметры и техническую реализацию компонентов и систе-

мы в целом, а также допустимые комбинации соединения компонентов и ограничения на значение показателей качества системы в целом.

ТАБЛИЦА. Вариант морфологической таблицы задания множества вариантов АСС

Морфологические классы	Возможные способы реализаций подсистем	Число способов реализации
Технология формирования MESH-сети	$[A_{11}], A_{12}, \dots, A_{1K_1}$	$K_1$
Аппаратура сенсорной системы датчиков обнаружения активных угроз	$A_{21}, [A_{22}], \dots, A_{2K_2}$	$K_2$
Система адаптивной фильтрации на основе использования линейных устройств	$A_{31}, [A_{32}], \dots, A_{3K_3}$	$K_3$
Алгоритм маршрутизации и аппаратура его реализации	$A_{41}, A_{42}, \dots, [A_{4K_4}]$	$K_4$
Методы реконфигурации и аппаратура его реализации	$[A_{51}], A_{52}, \dots, A_{5K_5}$	$K_5$
Элементы активной защит от средств ПВО	$[A_{61}], A_{62}, \dots, A_{6K_6}$	$K_6$
Элементы системы опознавания «свой-чужой»	$A_{71}, [A_{72}], \dots, A_{7K_7}$	$K_7$

В качестве обобщенного критерия, наиболее рационального варианта АСС (табл.), в работе предлагается использовать максимум предотвращенного интегрального риска, или равнозначный критерий: минимум интегрального риска на всех уровнях синтезируемой АСС на базе БПЛА [3]:

$$R_i = P_{ugi} \cdot (1 - P_{gi}) \cdot C_i, \quad (1)$$

где  $P_{ugi}$  – вероятность реализации физического или информационного РВ (угрозы)  $i$ -го типа;  $P_{gi}$  – вероятность сохранения живучести ( $(1 - P_{gi})$  – уязвимость);  $C_i$  – оценка возможных потерь в результате реализации физического или информационного РВ (угрозы)  $i$ -го типа за ожидаемый период.

В рамках формулы (1) рассматривается угроза осуществления отдельного физического или информационного РВ определенного типа. На практике спектр возможных физических и информационных РВ бывает значительно шире [4]. При этом физическим и информационным РВ различного типа будут соответствовать разные значения вероятностей их осуществления  $P_{ug1}, P_{ug2}, \dots, P_{ugK}$ ; живучести  $P_{g1}, P_{g2}, \dots, P_{gK}$ ; ущербов  $C_1, C_2, \dots, C_K$  и частных рисков  $R_1, R_2, \dots, R_K$ , где  $K$  – число основных типов физических и информационных РВ.

Подход на основе формулы (1) основывается на упрощенном представлении о живучести, при котором величина ущерба не влияет на оценку живучести. То есть предполагается, что возможна либо успешная реализация физического или информационного РВ, например, уничтожение узла

сети, при котором ущерб отличен от нуля, либо РВ не будет реализовано и ущерб будет нулевым. Вследствие этого успешность физического или информационного РВ определяется тем, был ли в ходе РВ нанесен ущерб, а живучесть системы по отношению к РВ  $i$ -го типа определяется одним параметром – вероятностью осуществления результативного физического или информационного РВ либо против узла АСС, либо канала связи.

Более общая модель учитывает многовариантность сценариев развития событий после реализации физического или информационного РВ [4]. Пусть в результате реализации физического или информационного РВ  $i$ -го типа могут иметь место  $M$  сценариев развития событий  $S_{1i}, S_{2i}, \dots, S_{Mi}$ . Этому набору сценариев будет соответствовать набор значений возможных последствий  $C_{1i}, C_{2i}, \dots, C_{Mi}$ , который удобно записать в виде вектора  $\vec{C}_i = \{C_{1i}, C_{2i}, \dots, C_{Mi}\}$ . Пусть  $P[C_{ki} | PB_i]$  – условная вероятность нанесения системе ущерба уровня  $C_{ki}$  в случае осуществления реализации  $i$ -го физического или информационного РВ. Сформируем вектор живучести АСС на базе БПЛА  $\vec{P}_{gi} = \{P[C_{1i} | PB_i], P[C_{2i} | PB_i], \dots, P[C_{Mi} | PB_i]\}$ , который будет более полно характеризовать живучесть рассматриваемой системы, позволяя учесть возможность нанесения ущерба разного уровня.

### Заключение

Таким образом, на основе анализа совокупности анализа РВ предъявлены требования к АСС на базе БЛА, сформирована морфологическая модель и предложен критерий оценки эффективности в виде интегрального предотвращаемого риска. Предложенный критерий можно рассматривать как дополнение к существующим классическим показателям качества информационного обмена, при этом право на применение понятия «синтез» в предложенном подходе появляется в случае привнесения новых технических решений (компонентов) морфологической таблицы.

### Список используемых источников

1. Ананьев А. В., Афанасьев А. Л., Змий Б. Ф., Кашенко Г. А. Многокритериальный выбор маршрута в системах связи на базе беспилотных летательных аппаратов. Сб нач.ст. по мат. докл. III Всероссийской НПК «Авиатор» (11–12 февраля 2016 г.): в 2-х томах. Т. 2. Воронеж: ВУНЦ ВВС «ВВА», 2016. С. 15–20.

2. Калинин В. Н. Морфологический анализ проблематики теории системных исследований // Труды СПИИРАН. 2013. № 24. С. 89–107.

3. Будко П. А., Рисман О. В. Многоуровневый синтез информационно-телекоммуникационных систем. Математические модели и методы оптимизации: монография. СПб.: ВАС, 2011. 476 с.

4. Ананьев А. В., Змий Б. Ф., Кашенко Г. А. Оценка риска влияния физических и информационных разрушающих воздействий на аэромобильную сеть связи. Мат. докл. I ВНТК «Авионика». Воронеж: ВУНЦ ВВС «ВВА», 2016. С. 22–26.

УДК 623.355.6

## ПОДХОД К ОПРЕДЕЛЕНИЮ МЕСТА И РОЛИ НОМЕНКЛАТУРЫ ЗАПАСНЫХ ЧАСТЕЙ В КОМПЛЕКТЕ ЗИП ДЛЯ ТЕХНИКИ СВЯЗИ И АСУ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Д. В. Антропов<sup>1</sup>, В. С. Воловиков<sup>1</sup>, А. Н. Дробяскин<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Военная академия связи имени маршала Советского Союза С. М. Буденного

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

*Качественное и своевременное выполнение мероприятий восстановления работоспособного состояния техники связи и автоматизированных систем управления специального назначения обусловлено наличием определенных запасов, которые представляют собой определенный набор запасных частей, инструментов и принадлежностей. Состав таких комплектов должен обеспечить процесс ремонта техники связи и автоматизированных систем управления в заданных условиях их применения по назначению. Всегда имеющиеся ограничения на запасы материальных средств обуславливают применение показателей, позволяющих определять качественную и количественную оценку того влияния, которое оказывает конкретная запасная часть на техническую готовность техники связи и автоматизированных систем управления в целом.*

*запасные части, инструменты и принадлежности, показатель значимости.*

Ремонт неработоспособных техники связи и автоматизированных систем управления (ТС и АСУ) специального назначения является основным мероприятием материально-технического обеспечения (МТО) войск (сил), позволяющим поддерживать требуемый уровень готовности технических средств к применению по назначению. Непосредственное влияние на качество процесса ремонта будет оказывать обеспеченность ремонтных органов (РО) соответствующими комплектами запасных частей, инструментов и принадлежностей (ЗИП).

Прежде чем перейти к определению непосредственно характеристик ремонтного комплекта ЗИП необходимо сформулировать постановку задачи для заданных условий функционирования системы связи специального назначения.

Рассмотрим такое свойство войск (сил) как автономность действий – возможность самостоятельно выполнить задачи по предназначению на определенной интервале времени проведения специальной операции, т. е. в отсутствии какого-либо вмешательства сил и средств своей стороны. Таким образом, качество процесса ремонта будет соответствовать требу-

тому только в том случае, если РО будут располагать на определенный период действий необходимыми объемами ЗИП для восстановления работоспособности образцов ТС и АСУ (далее – объектов).

При этом стоит обратить внимание на следующие особенности создания требуемых запасов:

проведенные в системе МТО организационно-штатные мероприятия коснулись и средств доставки соответствующих запасов, в связи с чем имеющимися средствами транспортировки не всегда возможно обеспечить подвоз ЗИП в расчетных объемах к местам применения объектов по назначению;

длительность выполнения специальных задач в отрыве от основных сил может превышать нормативные сроки, а иметь в запасах дополнительные материальные средства не представляется возможным;

в ходе оперативно изменяющейся обстановки при проведении специальных мероприятий возможны ситуации, когда просто невозможно в спланированные сроки осуществить пополнение требуемых запасов.

В данных условиях возникает необходимость решения задачи: какое количество запасных частей (ЗЧ) и какой номенклатуры требуется иметь в РО для восстановления объекта путем замены его неработоспособных составных частей (СЧ) в расчетных условиях выполнения частью (подразделением) специальных задач. Очевидно, что ограничения на объем запасов материальных средств обуславливают применение критериев, позволяющих определять из всей совокупности требующих замены СЧ такие, ЗЧ-аналоги которых нужно иметь в ЗИП в первую очередь. То есть необходимо определить значимость (важность, вес, вклад) номенклатуры ЗЧ в структуре формируемых комплектов ЗИП, что непосредственно связано с умением сравнивать значимость СЧ в структуре объекта [1]. Смысл вводимого показателя вполне очевиден и закономерен: найти качественную оценку того влияния, которое оказывает конкретная СЧ на техническую готовность объекта в целом.

В зависимости от цели сравнения одни и те же СЧ могут обладать различной сравнительной значимостью по различным критериям. Поэтому важной задачей является точная формулировка цели сравнения. В рамках функционирования системы связи специального назначения, наиболее интересной является задача исследования живучести ТС и АСУ [2], затрагиваемая вопросом: какие СЧ в большей степени подвержены влиянию поражающих факторов оружия противоборствующей стороны?

Выбор показателя значимости СЧ определяется уровнем информационной обеспеченности, степенью разработки задачи и требованием точности ее решения. Так, поиск значимых СЧ возможен и целесообразен с использованием функций структурной значимости и живучести СЧ [3]:

$$w_j = s_j(1 - g_j), \quad (1)$$

где  $s_j$  – функция структурной значимости  $j$ -й СЧ;  $g_j$  – функция живучести  $j$ -й СЧ;  $w_j$  – показатель значимости  $j$ -й СЧ.

Оценка структурной значимости в работе [3] не проводилась. авторами предлагается рассматривать показатель ( $s_j$ ), который характеризует структурную значимость  $j$ -й СЧ  $i$ -ой номенклатуры, с позиций ее количества  $n_i$  в общей номенклатуре СЧ объекта (совокупности объектов), т. е. определяет относительную роль данной номенклатурной позиции в общем количестве СЧ  $N$ :

$$s_j = \frac{n_i}{N}.$$

Очевидно, что чем больше  $n_i$ , по сравнению с количеством СЧ других номенклатур, тем больше структурная значимость рассматриваемой СЧ.

Учитывая, что имеем  $l$  позиций номенклатур по  $n_i$  СЧ в каждой ( $i = 1, 2, \dots, l$ ) выражение (1) для определения значимости  $j$ -й СЧ  $i$ -ой номенклатуры примет вид:

$$w_{ji} = s_{ji}(1 - g_{ji}).$$

Получив количественные значения значимости, всю совокупность рассматриваемых СЧ можно представить рядом, ранжированным по убыванию показателя значимости:

$$w_{ji} > w_{ji+1}, j = 1, 2, \dots, n_i, i = 1, 2, \dots, l. \quad (2)$$

Представляется, что оперативная замена поврежденных СЧ с наименьшими номерами в ряду (2), будет являться наиболее эффективной мерой обеспечения работоспособности объекта, реализуемой на уровне СЧ. Однако, заключение о первоочередном восстановлении СЧ с наименьшими номерами в ряду (2) справедливо только в том случае, если задача синтеза решается без каких-либо ограничений на расход ресурсов. Такого рода ограничения всегда присутствуют, следовательно, наиболее значимые СЧ должны выбираться с учетом возможных (допустимых) вариаций их параметрами в пределах области определения целевой функции.

Применительно к решаемой задаче по формированию рационального состава комплекта ЗИП, в целях обеспечения процесса ремонта, полученный ряд (2) представляет собой не что иное, как весовые коэффициенты ( $w_{zi}$ ) ЗЧ ( $x_{zi}$ ), порядок расположения которых в ряду неработоспособных СЧ  $X_Z = \{x_{zi}\}$  определяет значимость  $z$ -й ЗЧ  $i$ -ой номенклатуры по отношению к ЗЧ других номенклатур в структуре комплекта ЗИП.

Тогда, алгоритм выбора значимой ЗЧ, определяющий ее приоритет во всей совокупности неработоспособных СЧ, может быть представлен в виде:

$$W_{\text{пр}} \rightarrow \max w_{zi} \in W \left[ \alpha_{\zeta} \in A_{\zeta, \chi} \right], z = 1, 2, \dots, m_i, \zeta = 1, 2, \dots, N, \chi = 1, 2, \dots, n_{\chi}, \quad (3)$$

где  $A_{\zeta,\chi}$  – множество возможных значений  $\alpha_\zeta$ -го параметра  $j$ -й СЧ  $i$ -ой номенклатуры, требующего расхода  $\chi$ -го ресурса (количества ЗЧ, занимаемого объема, времени восстановления, затрат и т. п.) при включении в формируемый комплект ЗИП;  $m_i$  – число ЗЧ  $i$ -й номенклатуры;  $N$  – общее количество СЧ в структуре рассматриваемого объекта;  $n_\chi$  – число ограничений на ресурсы.

В соответствии с (3) ряд приоритетов (2) должен быть модифицирован в подмножество, включающее показатели значимости только тех СЧ, которые имеют степени свободы параметров в рамках ограничений на ресурсы ( $A_{\zeta,\chi} \neq 0$ ), что представляет собой решение оптимизационной задачи.

Такая постановка задачи означает, что для оптимизации процесса ремонта ТС и АСУ путем обоснования рационального номенклатурного и количественного состава комплекта ЗИП, с накладываемыми ограничениями на запас в виде требований вышестоящих систем, целевая функция формирования запасов, может быть сформулирована в виде критерия:

$$W \rightarrow \max, \text{ при } V \leq V_{\text{доп}},$$

где  $W$  – совокупная значимость создаваемого комплекта ЗИП;  $V_{\text{доп}}$  – допустимый объем, измеренный в совокупности объемов ЗЧ, включаемых в комплект ЗИП.

Таким образом, принятие управленческого решения на формирование комплекта ЗИП, позволяющего функционировать системе ремонта с требуемой эффективностью, заключается в решении задачи оптимального использования выделенного объема под ЗЧ, которая может быть сформулирована следующим образом.

Требуется найти рациональный вектор  $\bar{X}^* = \{X_1^*, X_2^*, \dots, X_M^*\}$  с целыми неотрицательными компонентами, характеризующий количество ЗЧ, помещаемых в объем ( $V$ ) и максимизирующий линейную функцию:

$$\max \sum_{i=1}^l \sum_{z=1}^{m_i} w_{zi} x_{zi} \quad (4)$$

и удовлетворяющий условию:

$$\sum_{i=1}^l \sum_{z=1}^{m_i} v_{zi} x_{zi} \leq V_{\text{доп}},$$

где  $w_{zi}$  – значимость  $z$ -й ЗЧ  $i$ -ой номенклатуры ( $x_{zi}$ ), определяющая его ценность относительно других ЗЧ в структуре комплекта ЗИП;  $v_{zi}$  – объем ЗЧ  $x_{zi}$ , задаваемый его геометрическими размерами.

Так как функция (4) является линейной, а каждая ЗЧ решения принимает одно из двух значений:

$$x_{zi} = \begin{cases} 1, & \text{если } z\text{-ая ЗЧ включается в структуру ЗИП,} \\ 0, & \text{если } z\text{-ая ЗЧ не включается в структуру ЗИП,} \end{cases}$$

то решаемая задача относится к классу задач целочисленного линейного программирования и является классической задачей о загрузке рюкзака [4, 5].

Исходя из вышеизложенного, управляющие воздействия по формированию комплектов ЗИП, необходимых для ремонта ТС и АСУ на интервале времени выполнения специальных задач ( $t$ ), будет представлять собой функцию вида:

$$u(t) = f(X_Z(t), W(t), V_{\text{доп}}), \quad (5)$$

где  $X_Z(t)$  – совокупность неработоспособных СЧ.

Таким образом, сформулированная задача по обоснованию рационального номенклатурного и количественного состава комплекта ЗИП для восстановления работоспособности ТС и АСУ специального назначения, в сравнении с известными постановками и методами решения аналогичных задач, имеет следующую особенность – учет зависимости функции (5) от значимости восстанавливаемых СЧ, выраженную через их живучесть.

Представленный подход к определению места и роли номенклатуры ЗЧ в комплекте ЗИП для ТС и АСУ специального назначения является лишь первым шагом в решении целого ряда задач в нахождении количественных оценок влияния состава запасов на качество ремонта. В дальнейшем авторами планируется направить свои усилия на рассмотрение вопросов предметной области по следующим направлениям:

выполнение структурного и функционального анализа образца ТС и АСУ, установление логических связей между ними;

выделение на соответствующих уровнях разукрупнения структуры образца [6] возможных повреждений, вызванных воздействием поражающих факторов, и, прослеживание причинно-следственных связей, обуславливающих их возникновение, а также возможных последствий этих повреждений на данном и вышестоящих уровнях,

качественная и количественная оценка повреждений по тяжести их последствий и их ранжирование с помощью выбранных критериев.

В основе решения данных задач можно использовать методическое обеспечение процедуры, называемой анализом видов, последствий и критичности отказов [7], но с учетом конкретных условий применения ТС и АСУ по предназначению в интересах управления силами и средствами специальных операций.

#### Список используемых источников

1. Финкельштейн М. С. Надежность и живучесть радиоэлектронных систем. Л.: ЦНИИ «Румб», 1990. 123 с.



2. ГОСТ 27.002-89. Надёжность в технике. Основные понятия. Термины и определения. М.: Издательство стандартов, 1989. 10 с.
3. Стекольников Ю. И. Живучесть систем. СПб.: Политехника, 2002. 155 с.
4. Рыжиков Ю. И. Теория очередей и управление запасами. СПб.: Питер, 2001. 384 с.
5. Дасгупта С., Пападимитриу Х., Вазирану У. Алгоритмы; пер. с англ. / Под ред. А. Шеня. М.: МЦНМО, 2014. 320 с.
6. ГОСТ Р 52003-2003. Уровни разукрупнения радиоэлектронных средств. Термины и определения. М.: Стандартинформ, 2003. 10 с.
7. ГОСТ 27.310-95. Надёжность в технике. Анализ видов, последствий и критичности отказов. Основные положения.

УДК 621.391

## ВОССТАНОВЛЕНИЕ СЕТИ СВЯЗИ ВОЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ ПРИ ВЫХОДЕ ИЗ СТРОЯ ЕЁ ЭЛЕМЕНТОВ

**А. В. Арсентьева, Е. В. Арсентьева, С. А. Шинкарёв**

Военная академия связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного

*В настоящее время одна из важнейших задач построения и развития телекоммуникационных сетей военного назначения связана с обоснованием и выбором структуры, обеспечивающей эффективную реализацию и функционирование данных сетей.*

*Анализ прогнозируемых условий функционирования сети связи Вооруженных Сил Российской Федерации показал, что вследствие возможных воздействий противника и дестабилизирующих факторов среды возможно нарушение структуры сети и выход из строя ее элементов. Данный фактор определяет необходимость заблаговременной разработки вариантов восстановления сети и ее элементов как решение задачи, носящей ситуационный характер. Классическая модель ситуационного управления, адаптированная к задачам восстановления структуры сетей связи и особенностям их решения при различных дестабилизирующих факторах с учетом временных ограничений и ограничений на резерв сил и средств. Подход к решению задач восстановления представляет собой алгоритм ситуационного управления, где достаточно ярко и наглядно представлена классификация различных вариантов выхода из строя элементов, что позволяет минимизировать время анализа и оценки состояния сети и формирования решения.*

*сеть связи военного назначения, восстановление сети связи военного назначения, система восстановления.*

В процессе функционирования сети связи военного назначения (СС ВН), неизбежно воздействие внешних дестабилизирующих факто-

ров (ВДФ), которые могут привести к различным ситуациям, в том числе к выходу из строя элементов или перегрузкам отдельных участков сети.

Последствия воздействий ВДФ как на всю сеть, так и на отдельные ее части, можно рассматривать по наносимому ущербу, который можно оценить по соотношению вышедших из строя элементов сети связи к общему числу элементов сети градациями до 50 % (высокий), 30 % (средний) и 10 % (низкий) [1]. Высокий ущерб может быть нанесен сети при нахождении ее элементов в зоне ядерного воздействия в случае применения ядерного оружия по крупным промышленным объектам, объектам военной техники, объектам государственного управления и т. д. Средний ущерб может быть нанесен сети связи (СС) воздействием обычного оружия (при локальных военных конфликтах), техногенными катастрофами, стихийными бедствиями. Низкий ущерб может быть нанесен СС воздействием источников ВДФ локального действия, в том числе террористическими актами. Нанесение высокого и среднего ущерба оборудованию СС имеет место при очень серьезных воздействиях дестабилизирующих факторов, провоцируемых чрезвычайными ситуациями, такими как военные конфликты, ядерные удары и стихийные бедствия. При таких воздействиях основное внимание уделяется сохранению каналов связи. Низкий ущерб оборудованию СС наиболее вероятен при воздействии локальных источников ВДФ на отдельные объекты СС или небольшую их группу. При таких воздействиях внимание уделяется сохранению не только каналов СС, обеспечивающих направление связи первой категории, но и направления связи второй и третьей категории.

Уязвимость элементов СС ВН (узлов и соединительных линий) к воздействию ВДФ определяется уровнем возможного воздействия дестабилизирующих факторов, наличием в составе ее направлений связи первой категории. Устойчивость СС ВН определяется ее структурой.

Перед проведением расчетной оценки устойчивости СС следует провести предварительный анализ устойчивости СС по дополнительным критериям устойчивости. Можно ожидать, что устойчивость сети будет достаточной, если:

- структура построения СС такова, что обеспечивает три независимых пути связи для основных направлений связи;
- обеспечивается возможность перераспределения каналов на основных направлениях связи;
- предусмотрено взаимодействие с сетями электросвязи, для обеспечения взаимного резервирования каналов связи;
- применяются линии связи с различной средой распространения;
- предусматривается система восстановления объектов связи при их возможном разрушении.

Задачу восстановления структуры СС ВН можно представить, как процесс ситуационного управления в системах военного назначения [2].

Ситуационное управление базируется на использовании основополагающих понятий теории управления, к которым можно отнести понятие ситуации, управляющих воздействий, классификации ситуаций и их преобразования [3]. В общем виде решение задач ситуационного управления должно включать следующие основные элементы, в первую очередь, объект управления и лицо принимающее решение (ЛПР), информация о состоянии объекта, блок анализа и классификации ситуации, решающего элемента и управляющего воздействия.

Процесс ситуационного управления при восстановлении структуры СС ВН можно представить в виде следующей схемы (рис. 1).

Как видно ситуационное управление при восстановлении структуры СС ВН включает в себя все основные элементы. Объектом управления является СС ВН, информация о состоянии объекта поступает на блок анализа, где она оценивается и сравнивается, соответствует ли структура предъявляемым требованиям или нет. Далее состояние классифицируется для упрощения выработки управляющего воздействия, если алгоритм восстановления структуры имеется, и он не требует участие человека, то управляющее воздействие поступает на объект управления. В противном случае информация доводится до ЛПР, он формирует варианты решения, оценивает их и выбирает рациональный.

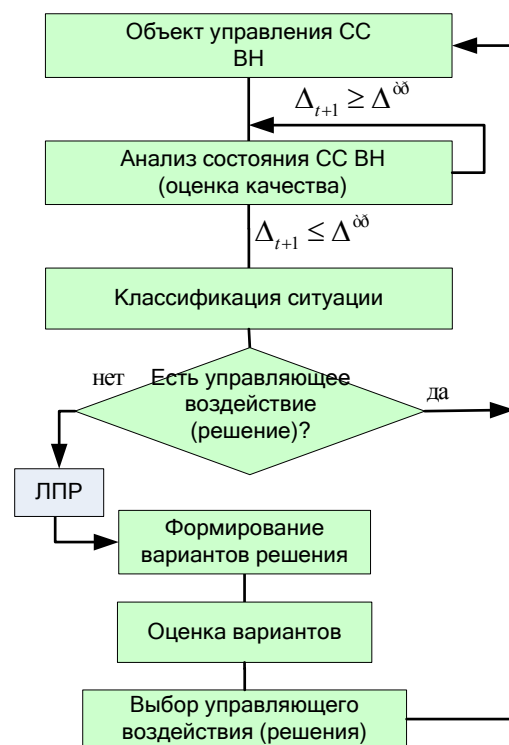


Рис. 1. Схема ситуационного управления при восстановлении структуры СС ВН

Рассмотрим варианты выхода из строя элементов сети:

1. Выход из строя узла транспортной сети (рис. 2а), можно представить в виде выражения:  $G_i(A \setminus a_i, B \setminus \{b_i^c\}), c = \overline{1, r(a_i)}$ , то есть помимо узла выходят из строя и линии инцидентные данному узлу.

2. Выход из строя линии связи (рис. 2б), можно записать как  $G_i(A, B \setminus b_{ij})$ ;

3. Выход из строя узла и линии (рис. 2в),  $G_i(A \setminus a_i, B \setminus \{b_i^c\} \cup b_{ji})$ .

4. Выход из строя нескольких элементов (рис. 2г)  $G_i(A \setminus \{a_i\}, B \setminus \{b_i^c\} \cup b_{ji})$ , но структура связная.

5. Выход из строя нескольких линий связи (рис. 2д)  $G_t(A, B \setminus \{b_i^c\})$ , структура несвязная.

6. Выход из строя нескольких элементов (рис. 2е)  $G_t(A \setminus \{a_i^c\}, B \setminus \{b_i^c\} \cup b_{jl})$ , структура несвязная.

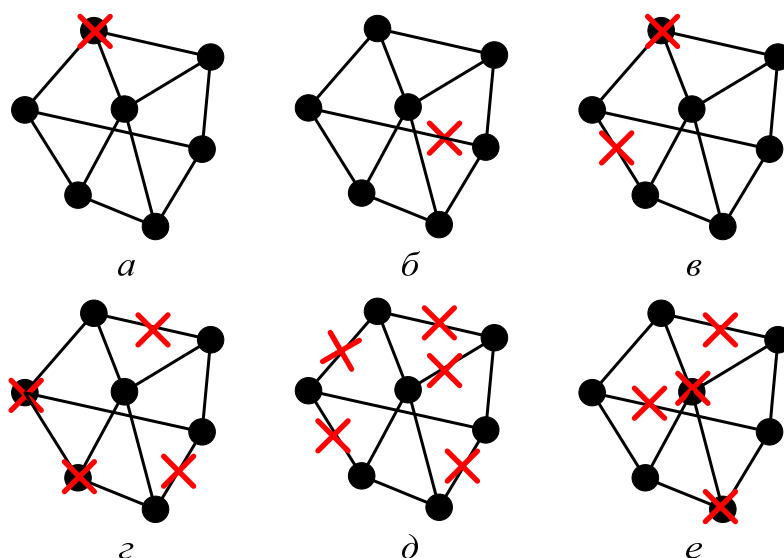


Рис. 2. Вариант выхода из строя элементов структуры сети

Состояний структуры очень много и для каждого заранее выработать управляющее воздействие не представляется возможным. Множество всех состояний можно классифицировать по ряду признаков:

$$S_0, S_1, S_2, \dots, S_l, S_{l+1}^*, \dots, S_k^*, S_{k+1}^{**}, \dots, S_T^{**}$$

где  $S_0$  – первоначальное состояние структуры требуемого качества;  $S_1, S_2, \dots, S_l$  – состояния, при которых восстановления возможно за счет внутреннего ресурса (резерва пропускной способности);  $S_{l+1}^*, \dots, S_k^*$  – состояния при которых структура представляет собой связанный подграф;  $S_{k+1}^{**}, \dots, S_T^{**}$  – состояния, при которых структура является несвязной.

Во время воздействия на СС ВН различных факторов ее функционирование можно разбить на несколько этапов:

$$G_0 \rightarrow G_t \rightarrow G_{t+1} \rightarrow G_{t+2},$$

где  $G_0$  – структура до изменений, которая должна представлять собой квазиоднородную структуру, на которой определены КПУ и рационально распределен ресурс пропускной способности между КПУ;  $G_t$  – структура после изменений, которая не удовлетворяет требованиям;  $G_{t+1}$  – структура после восстановления пропускной способности;  $G_{t+2}$  – структура после наращивания.

Любой вариант восстановления структуры СС ВН ограничен имеющимся ресурсом и должен быть направлен в первую очередь на выполнение требований по пропускной способности. Это требование является основным, так как по своему функциональному предназначению СС ВН должна выполнять перенос потоков сообщений с требуемым качеством.

Существенной особенностью восстановления структуры сети является наличие времени на выработку варианта восстановления и само восстановление, а в дальнейшем и наращивание.

Задачи, решаемые системой восстановления, можно разделить на три временные составляющие:

1) задачи оперативного восстановления разрушенных направлений связи первой категории за нормативное время от 6 до 24 ч (для всех остальных направлений до 48 ч);

2) задачи восстановления среднесрочного характера, реализуемые в совокупности мобильными и подвижными средствами восстановления связи с целью частичного удовлетворения потребностей направлений первой категории и других направлений (от 10 % до 30 % требуемого числа каналов);

3) задачи восстановления долгосрочного характера, обеспечивающие полное восстановление объектов связи и структуры сетей связи.

Таким образом, в качестве основной задачи оперативного восстановления предполагается решение задачи по реконфигурации сети (перераспределение потоков) за счет инвариантной части канального ресурса сети и резервных каналов. Среднесрочное восстановление предполагает развертывание дополнительных линий за счет введения таких линий, которые дадут наибольшее приращение устойчивости сети. Долгосрочное восстановление предполагает введение как линий, так и узлов, дающих максимальную связность сети с учетом имеющихся мобильных и подвижных средств восстановления.

#### Список используемых источников

1. ГОСТ Р 53111-2008 Устойчивость функционирования сети связи общего пользования.

2. Боговик А. В., Игнатов В. В. Теория управления в системах военного назначения: учеб. СПб.: ВАС, 2008. 460 с.

3. Арсентьева А. В., Шинкарев С. А., Хлобыстин Н. С. Анализ и оценка состояния структуры при решении задач восстановления сети связи специального назначения // Неделя науки СПбПУ: материалы научного форума с международным участием. Институт военно-технического образования и безопасности. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2015. С. 5–8.

УДК 654.026

## ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СЕТИ СЛУЖЕБНОЙ СВЯЗИ НА ПОЛЕВОМ УЗЛЕ СВЯЗИ С ПРИМЕНЕНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СРЕДСТВ

**Д. В. Басулин, С. П. Кривцов, Л. И. Орлова, В. И. Чеботарёв**

Военная академия связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного

*В работе рассмотрены перспективы развития сети служебной связи на полевом узле связи с применением современных информационно-телекоммуникационных средств. Статья описывает возможность принципиально иного управления полевым узлом связи с использованием услуг связи, таких как видеосвязь по направлению и в режиме конференции, текстовые сообщения и передача файлов.*

*система управления, полевой узел связи, сеть служебной связи, система оперативно-диспетчерской связи, короткие текстовые сообщения, видео-конференц-связь.*

В настоящее время структура органов управления Вооруженными Силами РФ и войсками связи претерпевает кардинальные изменения, обусловленные совершенствованием способов и средств вооруженной борьбы.

Применение поступающих на вооружение современных систем, комплексов, средств связи и автоматизированных систем управления войсками показало, что их массовое внедрение позволяет значительно сократить время, необходимое на принятие решения, подготовку и проведение боевых операций [1].

Бурное развитие в последние годы новых информационных и телекоммуникационных технологий и активное применение этих достижений в системах военной связи позволит путем внедрения новых высокоуровневых услуг резко повысить эффективность функционирования как системы управления войсками в целом, так и системы управления связью.

Согласно перспектив развития Вооруженных Сил Российской Федерации к 2020 г. доля современной техники в войсках должна приблизиться к 70 %, что предполагает использование на полевых узлах связи как штатной техники, так и перспективной, в связи с этим очень остро стоит вопрос об организации управления полевыми узлами связи, которое не возможно без качественной и устойчивой служебной связи.

На современном этапе сети служебной связи на полевых узлах связи развиваются без единого руководства, на различных типах техники и с применением различных технологий. В настоящее время используются следующие средства служебной связи [2]:

традиционные средства с двухпроводной телефонной голосовой связью, с использованием микротелефонных трубок и гарнитур, а также громкоговорящей связи (ГГС);

автоматизированные пультаы служебной связи, работающие как с традиционными средствами, так и в режиме автоматической телефонной станции (АТС) с центральной батареей;

радиосредств, работающих как в аналоговом открытом режиме, так и в режиме технического маскирования.

Современные средства оснащаются комплектами аппаратуры внутри объектовой связи коммутации и управления (АВСКУ), передача информации в которых происходит по средствам локальной сети аппаратной по технологии ethernet, как по проводным линиям связи, так и по беспроводным каналам.

Различие производителей техники связи приводит к локальному использованию тех или иных средств служебной связи среди аппаратных одного завода-изготовителя. Совместное использование вышеперечисленных средств служебной связи зачастую оказывается очень затруднено, либо вообще невозможно. Так в случае применения на сетях служебной связи технологий с аналоговой передачей информации трудности возникают по причинам разных уровней приёма и передачи сигнала, несогласованного применением индукторного и тонального вызовов, а также разных значений сопротивления каналов служебной связи. В системах же с пакетной передачей информации вообще нет функции взаимодействия с аналоговой аппаратурой.

В современных средствах служебной связи отсутствует ГГС в режиме конференции, что создаёт неудобства при составлении каналов и трактов между взаимодействующими аппаратными и станциями, а также при настройке аппаратуре в режиме удалённого доступа.

На данный момент существующие средства служебной связи обеспечивают только телефонный режим функционирования сети служебной связи. Для эксплуатации современной техники связи этого не всегда достаточно. Современная цифровая техника имеет большое количество настроек и параметров, которые проще и быстрее передавать файлом. Кроме этого, для оперативного изменения настроек очень часто требуется трансляция экрана рабочего стола автоматизированного рабочего места (АРМ) взаимодействующей аппаратной и станции. В связи с этим для выполнения растущих требований, предъявляемых к управлению полевым узлом связи, система служебной связи должна функционировать в следующих режимах:

телефонной связи, как по направлению, так и в режиме конференции с применением ГГС;

видеотелефонной связи, как по направлению, так и в режиме конференции с применением ГГС, которая должна повисить персональную от-

ветственность личного состава, а также обеспечить эффект присутствия командира (начальника);

передачи текстовых сообщений, как формализованных, так и вновь формируемых;

передачи файлов, которые могут содержать документацию оперативно-технической службы, планы, графики выполнения задач, доклады, настроенную информацию и т. д.;

возможность трансляции рабочего стола удалённых рабочих мест, любой аппаратной и станции для оперативной настройки аппаратуры, с соблюдением требований безопасности связи.

Для реализации предложенной сети служебной связи на полевом узле связи предлагается использовать современные информационно-телекоммуникационные средства, работающие по принципу пакетной передачи данных по технологии ethernet.

В состав сети служебной связи необходимо включить:

автоматизированные рабочие места, оснащённые серверным программным обеспечением, микрофонами, web-камерами, средствами документирования и проводными средствами сетевого доступа, находящимися у дежурного по узлу связи и дежурных по элементам узла связи;

автоматизированные рабочие места, оснащённые клиентским программным обеспечением, микрофонами, web-камерами, средствами документирования и проводными средствами сетевого доступа, находящиеся на боевых постах;

сетевое оборудование такое, как коммутаторы 2 уровня, Wi-Fi роутеры, средства для пакетной передачи данных, работающие по линиям энергоснабжения, при помощи технологии Power Line, которые располагаются в аппаратных энергоснабжения, на выносных щитах электропитания, а также в аппаратных;

персональные средства связи личного состава, работающие по технологии Wi-Fi, оснащённые клиентским программным обеспечением, микрофонами и web-камерами.

Вариант схемы организации служебной связи на полевом узле связи представлен на рисунке.

В результате использования современных информационно-телекоммуникационных средств служебной связи вся система управления полевым узлом связи претерпит серьёзные изменения [3].

Принципиально иное управление полевым узлом связи будет реализовано благодаря возможностям специализированного программного обеспечения автоматизированных рабочих мест в составе такой перспективной сети служебной связи.



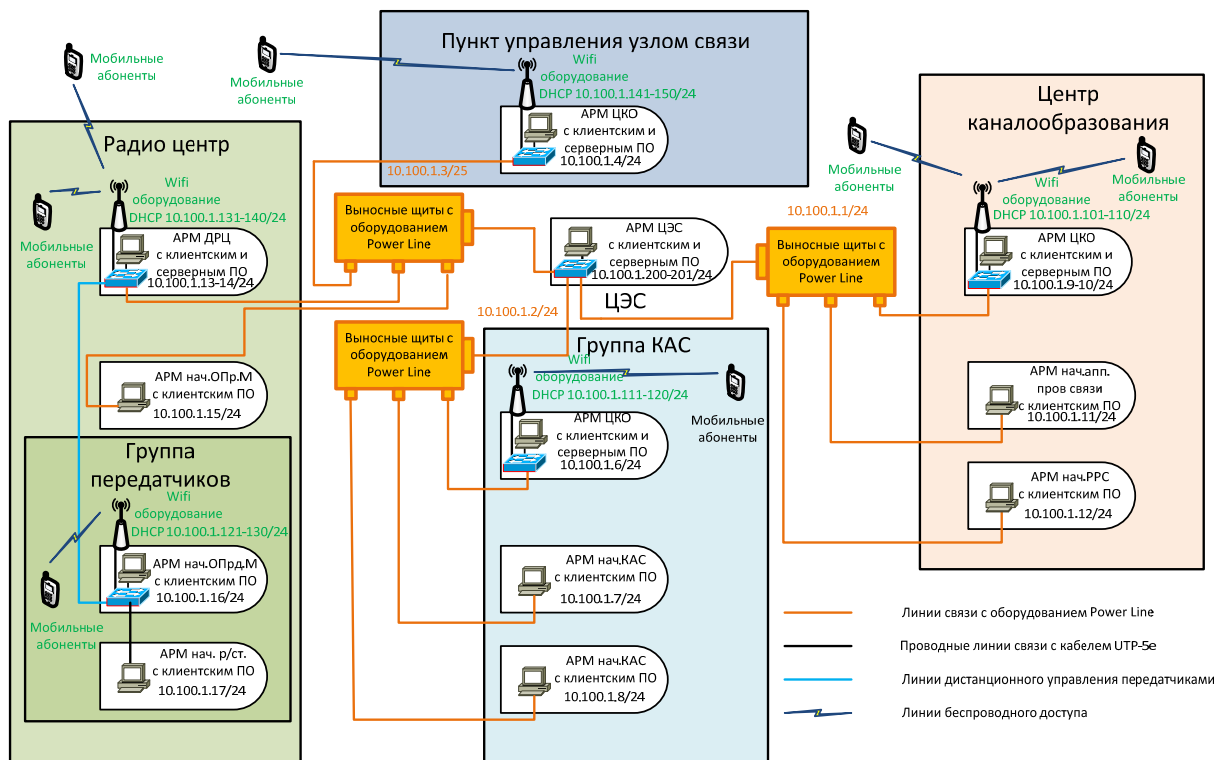


Рисунок. Вариант схемы организации служебной связи на полевом узле связи

Серверная часть специального программного обеспечения позволит организовать:

работу в телефонном режиме, конференцсвязь, видео-конференцсвязь, а также селекторную связь от командования узла связи и дежурного по узлу связи;

работу в режиме громкой связи на узле связи для оперативного управления как всем узлом связи, так и его элементами, и боевыми постами, включая доведение громкой связи до номеров дежурных расчётов боевых постов;

текстовую связь между пользователями и сохранение истории переписки;

обмен изображениями;

передачу файлов;

передачу экрана и управление удалённым рабочим столом;

подключение мобильных абонентов по технологии Wi-Fi с установленным на их терминалы клиентским программным обеспечением.

работу по технологии Power Line, для доведения локальной сети до аппаратных;

администрирование как сервера, так и клиентских терминалов;

шифрование данных передаваемых внутри локальной сети;

разделение прав доступа абонентов различных категорий.

Клиентская часть специального программного обеспечения позволит подключать автоматизированные рабочие места и мобильные терминалы

должностных лиц с выполнением выше перечисленные функции. Кроме того, появится возможность развернуть систему видеонаблюдения, предназначенную для визуального наблюдения за объектами полевого узла связи, находящимися как на основной части узла связи, так и на вынесенных элементах, поскольку на дежурного по узлу связи помимо основных обязанностей возложены обязанности дежурного по части.

Переход к предложенному варианту организации и построения сети служебной связи на современном информационно-телекоммуникационном оборудовании значительно увеличит показатели качества управления полевым узлом связи.

Описанные принципы построения сети служебной связи на полевом узле связи легли в основу построения макета системы управления полевым узлом связи.

#### **Список используемых источников**

1. Герасимов В. В. Сайт МО РФ. URL: <http://mil.ru>.
2. Кривцов С. П., Микина Н. С. Совершенствование линий дистанционного управления передатчиками радицентра стационарного узла связи при использовании современных телекоммуникационных средств // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. V Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сб. науч. ст. в 3 т. СПб.: СПбГУТ, 2016. Т. 3. С. 281–285.
3. Кривцов С. П. Перспективы развития системы управления стационарным узлом связи, оснащённой новыми инфотелекоммуникационными средствами // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. V Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сб. науч. ст. в 3 т. СПб.: СПбГУТ, 2016. Т. 3. С. 286–289

*Статья представлена научным руководителем, доктором технических наук, профессором А. В. Мякотиним.*

**УДК535.8**

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ СРЕДНЕЙ ВЕЛИЧИНЫ АЭРОЗОЛЬНОГО ОСЛАБЛЕНИЯ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ АТМОСФЕРНО-ОПТИЧЕСКОЙ ЛИНИИ СВЯЗИ**

**А. С. Безбородова, А. Н. Музыкантов, К. И. Стахеев, И. Г. Штеренберг**  
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

*В статье рассматривается один из элементов составляющих атмосферно-оптической линии связи – лазерный луч, характеристики которого при распространении*

нии в атмосфере сильно зависят от аэрозолей, гидрометеоров и других загрязнений воздуха. Для решения этой проблемы приведены расчеты средней величины аэрозольного ослабления.

атмосферно оптическая линия связи, аэрозольное ослабление, метеорологическая дальность видимости.

При проектировании атмосферно оптическая линия связи (АОЛС) основное внимание необходимо уделять распространению модулированного лазерного луча коллимирующей оптической системой, характеристики которого напрямую зависят от аэрозолей (туманы, смог, дождь, снег), гидрометеоров и других загрязнений воздуха. Появление аэрозолей и гидрометеоров приводит к снижению прозрачности атмосферы, что значительно влияет на характеристики АОЛС в целом. Аэрозолей регулярно измеряют на сети метеостанций, которые характеризуются метеорологической дальностью видимости  $S_M$ , дБ/км (МДВ), определяемой из соотношения Кошмидера [1]:

$$S_M = \frac{\ln \varepsilon_r}{\alpha_A} = \frac{3,9}{\alpha_A} = \frac{16,9}{\alpha_A}, \quad (1)$$

где:  $\varepsilon_r = 0,02$  – порог контрастной чувствительности глаза на  $\lambda = 0,55$  мкм.

Соотношение (1) позволяет непосредственно использовать  $S_M$  для определения показателя ослабления. Для волн видимого (отличного от  $\lambda = 0,55$  мкм) и ближнего инфракрасного диапазонов показатель ослабления за счет аэрозольного рассеяния имеет вид:

$$\alpha_A(\lambda_i) = \frac{3,9}{S_m} \left( \frac{0,55}{\lambda_i} \right)^m, \quad (2)$$

где:  $\lambda_i$  – волна лежащая в «окне прозрачности» атмосферы,  $m$  – параметр, зависящий от  $S_M$  (при  $S_M < 6$  км  $m = 0,585 * S_M^{1/3}$ ; для средних условий видимости  $m = 1,3$ ; для очень хороших –  $m > 1,5$ ).

Выражение (1) и (2) справедливы только в приземном слое атмосферы (высотой до 50 м.). Для установления зависимости  $\alpha_A S_M$  с увеличением высоты горизонтальной трассы над поверхностью Земли можно применить модель сертификации безоблачной атмосферы Эльтермана и с учетом (2), найти:

$$\alpha_A(\lambda_i, h) = \frac{3,9}{S_m} \left( \frac{0,55}{\lambda_i} \right)^m \times \exp\left(-\frac{h}{h_a}\right), \quad (3)$$

где  $h_a$  – эмпирическая постоянная, зависящая от  $S_M$ , например, на высоте  $h = 5$  км величина  $\alpha_A(0,55) = 5,02 * 10^{-3} \text{ км}^{-1}$ .

Для  $h > 5$  км убывание  $\alpha_A$  считается независимым от  $S_M$ . На вертикальных и наклонных трассах для определения  $\alpha_A$  необходимо знать интеграл от выражения (4) вдоль трассы:

$$\alpha_A(\lambda_i, h)L_{ATM} = \int_0^L \alpha_A(z) dz = \frac{1}{\cos \Theta} \int_{h_0}^{h_0 \pm z \cdot \cos \Theta} \alpha_A(h) dh, \quad (4)$$

$$h(z) = h_0 \pm z \cdot \cos \Theta \quad (5)$$

где  $h(z)$  – высота текущей точки луча при распространении снизу вверх (знак «+») и сверху вниз (знак«–»),  $h_0$  – высота передатчика,  $L_{ATM}$  длина участка трассы, проходящего в атмосфере Земли.

Подставляя (4) в (5) и интегрируя, получаем:

$$\alpha_A(\lambda_i, h)L_{ATM} = \frac{3,9}{S_m} \cdot \frac{h_0}{\cos \Theta} \cdot \left(\frac{0,55}{\lambda_i}\right)^m \left[ \exp\left(-\frac{h_0}{h_a}\right) - \exp\left(\frac{h_0 \pm \cos \Theta}{h_a}\right) \right],$$

что справедливо при  $h \cdot \sec \Theta \cdot R_3^{-1} \ll 1$  и  $0^0 \ll \Theta \leq 80^0$ , где  $R_3$  – радиус Земли.

Использование МДВ как основного критерия состояния атмосферно оптического канала дает возможность также провести районирование и осуществить прогнозирование надежности атмосферного канала.

Также можно рассчитать коэффициент средней величины пропускания атмосферного оптического канала, обусловленного аэрозолем. Статистика величины  $\alpha_A$ , связанная с изменением МДВ( $S_M$ ), анализировалась в [2], где было установлено, что она зависит от места расположения трассы и сезона года.

В случае, когда закон распределения  $S_M$  описывается модифицированным бета-распределением, то среднегодовое распределение  $T_A$  для видимого диапазона волн рассчитывается по формуле:

$$W(T_A) = -\frac{1}{3,9LT_A} \cdot \frac{\Gamma(a_1+b)}{\Gamma(a_1)\Gamma(b)} \cdot \left(-\frac{3,9L}{\ln T_A}\right)^{a_1+1} \cdot \left(1 + \frac{3,9L}{\ln T_A}\right)^{b-1},$$

$$a_1 = \frac{m_{S_M}}{12} \left[ \frac{m_{S_M}(12-m_{S_M})}{\sigma_{S_M}^2} \right],$$

$$b = \frac{a_1(12-m_{S_M})}{m_{S_M}}.$$

Если же среднегодовое распределение  $S_M$  отображается модифицированным распределением Райса переходящим при неблагоприятных для функционирования АОЛС условиях в распределение Рэлея, то для видимого и ближнего инфракрасного (ИК) диапазонов распределения  $T_A$  можно представить как:

$$W(T_A) = \frac{\gamma}{T_A \ln T_A} \exp\left(-\frac{\gamma}{2}\right),$$

$$\gamma = \frac{(3,9L)^2}{\sigma^2 \ln^2 T_A}.$$

В [1] доказано, что при длинах трасс  $L \leq 5$  км и значениях  $T_A \geq 0,1$  реальное распределение  $T_A$  в этих же диапазонах хорошо аппроксимируется усеченными экспоненциальным распределением:

$$W(T_A) = \frac{1}{m_{T_A}} \exp\left(-\frac{T_A}{m_{T_A}}\right),$$

а при  $L \geq 5$  км – модифицированным усеченным распределением Вейбулла:

$$W(T_A) = \frac{1 - \exp\left[-\left(\frac{T_A}{m_{T_A}}\right)^{r(\lambda, L)}\right]}{1 - \exp[-m_{T_A}^{-r(\lambda, L)}]}, \quad (6)$$

где  $r(\lambda, L)$  – параметры распределения.

Для среднего ИК диапазона, и, в частности, для перспективной по возможности использования в АОЛС  $\lambda = 10,6$  мкм в [2, 3] было установлено, что для трасс  $L \geq 5$  км также справедливо распределение в форме (6), но с регулировочным параметром  $r \div \frac{\lambda}{L}$ , что физически объясняется различным соотношением в этих диапазонах длины волны и размеров аэрозолей.

Особенностью работы АОЛС является такое свойство, которое проявляется в том, что при нормальной погоде качество передачи очень хорошее до момента, когда за счет ухудшения погодных условий сигнал на приемнике уменьшается до порогового значения количества ошибок на бит информации. АОЛС может работать длительное время идеально в снег, дождь, туман средней интенсивности, а вследствие сгущения тумана до критической МДВ, канал полностью пропадает. В это время число ошибок возрастает от  $10^{-10} \dots 10^{-12}$  до 1. Так же нормальная работа АОЛС восстанавливается при улучшении погодных условий.

Таким образом, при проектировании АОЛС целесообразно проводить расчеты средней величины аэрозольного ослабления, которая оказывает значительное влияние на работу АОЛС при ухудшении погодных условий. Располагая сведениями о метеорологической статистике конкретной местности, например, используя данные метеослужб, можно с определенной точностью предсказать доступность канала связи организованного по АОЛС.

#### Список используемых источников

1. РД 52.21.680 от 22.05.2006. – 93 с.
2. Гумбинас А. Ю., Милютин Е. Р. Статистическая теория атмосферного канала оптических информационных систем. М.: Радио и связь, 2002. 254с.
3. СНИП 2.01.07-85. Нагрузки и воздействия. Нормы проектирования. Госстрой России. М.: ГУП ЦПП, 2003. 55с.

УДК 681+355

## АНАЛИЗ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА АСУС ВОЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

С. В. Беляев<sup>1</sup>, С. А. Падишин<sup>1</sup>, С. А. Панихидников<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Военная академия связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного

<sup>2</sup> Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

*В работе представлен анализ АСУС. Рассмотрены факторы, влияющие на развитие систем управления связью. Описаны уровни управления связью. Проведен анализ функционирования системы мониторинга. Поставлена задача на разработку методики оценки системы мониторинга.*

*связь, мониторинг, управление связью, уровни управления связью.*

За период существования систем связи военного назначения накоплен богатый опыт по управлению ими. Однако современные условия вооруженной борьбы и перенос акцентов противостояния в информационную сферу требуют изучения и совершенствования научно-практического подхода к управлению системой связи военного назначения.

Применение различных технологий передачи информации в системе связи ВС РФ делает особенно актуальной задачу построения современной системы управления связью, способной обеспечить своевременное и непрерывное функционирование системы связи в любых условиях обстановки. При этом анализ опыта работы систем управления войсками и систем связи, и их технологической основы, позволяет выделить ряд общих факторов, влияющих на развитие систем управления связью, а именно:

рост информационных потоков, циркулирующих в системах управления войсками;

ужесточение требований к информационному процессу в системах управления войсками, а, следовательно, и к системам автоматизации и связи, обеспечивающим данный процесс;

рост территориального размаха, как в целом систем управления, так и их отдельных элементов;

усложнение архитектуры системы связи;

появление новых логических структур сетей связи (адресной, VLAN, VPN и т. д.) [1];

использование разнотипного телекоммуникационного оборудования и различных технологий передачи информации;

постоянное развитие средств и способов негативного воздействия на систему связи;

необходимость взаимной интеграции и интеллектуализации систем автоматизации и связи и другие факторы.

При этом, при создании АСУС следует руководствоваться следующими принципами:

- соответствие структуре системы связи;
- централизованное управление с возможностью децентрализации функций управления системой связи и её элементами;
- автоматизация процессов управления связью;
- возможность реконфигурации, восстановления и наращивания структуры системы управления связью;
- единство системотехнических решений для всех звеньев и уровней системы управления связью;
- использование единой системы стандартов по техническому, информационному, программному и математическому обеспечению;
- обеспечение сопряжения с системами управления взаимодействующих сетей и систем связи.

Управление связью осуществляется на организационном, оперативно-техническом и технологическом уровнях управления (рис. 1). На уровне организационного управления обеспечивается реализация целевых задач функционирования системы связи путём планирования связи (разработки и коррекции документов по связи), управления построением системы связи и боевым применением соединений и частей связи. На уровне технологического управления осуществляется контроль и изменение технического состояния средств связи (сетевых элементов) сетей связи.



Рис. 1. Уровни управления связью

Организационное и оперативно-техническое управление связью осуществляется через должностных лиц органов системы управления связью, командиров и штабы войск связи.

Технологическое управление связью осуществляется с использованием возможностей современных средств связи выдавать в систему управления информацию о своем состоянии, а также воспринимать поступающие

из системы управления управляющие команды и сигналы и изменять под их воздействием своё состояние.

Задачи оперативно-технического и технологического уровней управления связью решают системы мониторинга состояния систем и сетей связи.

Таким образом, для обеспечения эффективного функционирования системы связи ВС РФ требуется создать такую систему управления связью, в которой должны быть реализованы основные задачи управления, в первую очередь удаленного мониторинга (контроля) за состоянием элементов и конфигурирования различных сетей и системы связи в целом. Данные средства должны обеспечивать мониторинг сети и оповещение дежурной смены об аномальных ситуациях (авариях) до того, как они приведут к сбою нормального функционирования отдельных компонентов или всей инфокоммуникационной сети в целом.

При этом мониторинг условно подразделяется на оперативный и технический. Оперативный мониторинг обеспечивает непрерывный процесс сбора и анализа информации о состоянии связи на информационных направлениях должностными лицами дежурных смен узлов связи и пунктов управления связью, технический мониторинг – непрерывный процесс сбора и анализа информации о состоянии параметров, характеризующих работу линий, направлений и аппаратуры связи.

В существующей системе управления связью при функционировании систем оперативного и технического мониторинга имеется ряд недостатков.

Недостатки оперативно-технического мониторинга:

в существующих документах по управлению связью отсутствуют четкие рекомендации, которые определяют задачи, регламентируют порядок и последовательность работы должностных лиц в системе управления связью;

на сбор информации о состоянии связи, аварийных ситуациях и выявление причин уходит много времени, что увеличивает срок принятия решения.

Недостатки технологического мониторинга:

отсутствует возможность автоматического технического мониторинга целого ряда параметров, характеризующих работу телекоммуникационного оборудования на большинстве элементов узлов связи;

существующая система технического мониторинга не позволяет в режиме реального времени или близком к нему определить причину нарушения связи;

недостаточная топологическая разветвленность существующей системы технического мониторинга не позволяет реализовать функцию контроля функционирующих сетей связи и ее элементов в полном объеме.



Проанализировав недостатки можно сделать вывод, что существующая система управления связью, в том числе система мониторинга, не полностью удовлетворяет требованиям по контролю системы связи и охватывает ее частично.

С целью выявления причин указанных недостатков проведен анализ функционирования системы мониторинга. В задаче мониторинга, как правило, выделяется две взаимодействующие системы: подконтрольная система, для эффективного управления которой применяются средства мониторинга, и система мониторинга, объединяющая эти средства.

При работе системы мониторинга можно выделить следующие состояния:

нештатное (кризисное) состояние объекта мониторинга (в отличие от стабильного) – состояние, препятствующее корректной работе элемента системы, над которой осуществляется контроль;

нештатная ситуация – ситуация нахождения одного или более элементов системы (объектов мониторинга) в штатном состоянии.

Применение системного анализа, в частности метода функциональной декомпозиции, позволяет выделить следующие составные части, показанные на рис. 2, входящие в состав любой системы мониторинга. [2]:



Рис. 2. Составные части системы мониторинга

Некоторые из этих подсистем могут и не присутствовать в конкретной рассматриваемой системе мониторинга. Система же, в которой реализованы все эти подсистемы, приближается по функциональным свойствам к классической системе автоматического управления, где элементы подсистемы сбора данных выступают в качестве измерительных устройств, а элементы подсистемы коррекции в качестве исполнительных.

Проведенный анализ показал, что наименее реализованной, как в плане теоретических разработок, так и практического применения, является подсистема коррекции. Задача по устранению возникших нештатных ситуаций является плохо формализуемой в силу ее большой размерности и сложности, что делает актуальным проведение дальнейших исследований по созданию, с учетом направления развития телекоммуникационных и информационных технологий, системы мониторинга и как ее элементов центров мониторинга и управления связью, обеспечивающих весь набор заданных функций.

При разработке предложений по совершенствованию системы управления связью и системы мониторинга, как ее элемента, необходимо исследовать и оценить систему связи, систему управления связью, работу должностных лиц по сбору и обобщению сведений и данных, принятию решений, оценить существующую систему мониторинга. В системе связи необходимо изучить и определить, какие объекты (каналы, оборудование) необходимо контролировать, как, в каком объеме, по каким параметрам их оценивать. В системе управления связью необходимо исследовать, насколько система мониторинга позволит должностным лицам ускорить принятие решения и увеличить его эффективность. При оценке существующей системы мониторинга необходимо оценить возможности существующей системы, выявить, почему она не удовлетворяет современным требованиям.

Проведенный анализ существующих подходов к оценке систем управления связью показал, что имеющиеся в настоящее время методики и средства оценки систем мониторинга обладают рядом существенных недостатков, что ограничивает их применение в системах связи ВС РФ, кроме того имеются существенные сложности при выборе показателей и определении критериев оценки.

В связи с этим возникает задача разработки методики, по оценке системы мониторинга.

В общем виде, задача на разработку методики оценки систем мониторинга системы и сетей связи заключается в следующем. На основе анализа систем управления систем и сетей связи операторов связи ЕСЭ РФ, существующего методического материала по оценке систем управления системы связи военного назначения разработать методику оценки системы мониторинга системы и сетей связи военного назначения, позволяющую провести оценку эффективности существующих систем и на их основе выработать предложения по совершенствованию существующей системы управления связью системы связи ВС РФ на основе внедрения и применения современных средств мониторинга и контроля состояния телекоммуникационных сетей.

**Список используемых источников**

1. Падишин С. А., Панихидников С. А., Жигалов И. В. Методы распределения адресного ресурса в телекоммуникационных сетях специального назначения // Труды учебных заведений связи. 2016. Т. 2. № 4. С. 51–56.

2. Кореньков В. В., Дмитриенко П. В. Архитектура и пути реализации системы локального мониторинга ресурсного центра [Электронный ресурс] // Системный анализ в науке и образовании: электр. научн. журн. Дубна, 2011. N 3. URL: <http://www.sanse.ru/download/96> (дата обращения 06.02.2017).

УДК 159.9

**ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА СИСТЕМЫ ПОКАЗАТЕЛЕЙ  
ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ СЕТИ РАДИОСВЯЗИ  
ОБЩЕГО ПОЛЬЗОВАНИЯ****Е. А. Беспалый<sup>1</sup>, Д. С. Ванюгин<sup>2</sup>, Д. А. Калмыков<sup>3</sup>, И. Н. Репьев<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский научно-исследовательский университет  
информационных технологий, механики и оптики

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

<sup>3</sup>Военная академия связи имени маршала Советского Союза С. М. Буденного

*Статья посвящена обоснованию выбора системы показателей оценки эффективности сети радиосвязи общего пользования. Раскрываются основное функциональное предназначение сети радиосвязи общего пользования и наиболее характерные черты, свойственные системам специальной связи, позволяющие отнести их к классу сложных систем. Показывается на чем основывается в методологическом плане оценка эффективности сети радиосвязи общего пользования.*

*сеть радиосвязи общего пользования. рациональный вариант структуры сети радиосвязи общего пользования, показатели оценки эффективности сети, эффективность сети радиосвязи общего пользования.*

Выбор рационального варианта структуры сети радиосвязи общего пользования (СРС ОП) возможен лишь на основании данных сравнительного анализа количественных характеристик некоторого множества вариантов их структур, разработанных применительно к принятым условиям исследования и наиболее полно отвечающим заданным требованиям. В связи с этим необходимо выбрать и обосновать показатели оценки эффективности сети радиосвязи общего пользования.

В основе количественной оценки эффективности разрабатываемых сетей радиосвязи лежит моделирование процесса их функционирования в экстремальных условиях.

Всем системам специальной связи свойственны характерные черты, позволяющие отнести их к классу сложных систем [1, 2]:

сложность структурной организации и алгоритмов их функционирования;

наличие большого числа входящих в систему элементов, их тесная взаимосвязь в работе;

вероятностный характер процесса функционирования системы, обусловленный случайными и преднамеренными изменениями параметров среды, а также случайным характером поступления сообщений на обслуживание;

большой пространственный размах и динамичность.

Исходя из этого, оценка эффективности сети радиосвязи общего пользования в методологическом плане должна базироваться на основные положения теории сложных систем, теории эффективности, теории исследования операций и системного анализа.

Эффективность сети радиосвязи общего пользования должна оцениваться показателями, которые бы количественно выразили степень соответствия этой сети характеру выполняемых ею задач (целей), т. е. обеспечивать потребности системы управления организацией по передаче сообщений (пакетов) с заданным качеством в любых условиях обстановки.

Многообразие свойств, характеризующих данную сеть радиосвязи как систему, обуславливает и множество показателей для её оценки. Вместе с тем, наличие разнородных показателей создаёт известные трудности в оценке эффективности различных вариантов структур разрабатываемой СРС ОП и выборе из них лучшего. Неопределённость возникает в том случае, когда в одном варианте лучше одни показатели, а в другом – другие. Эта неопределенность может преодолеваться следующими путями [1, 2]:

множество показателей эффективности с помощью аддитивной или другой свёртки объединяется в один обобщённый, а варианты сети оцениваются по максимуму (минимуму) обобщённого показателя;

из совокупности показателей эффективности сети выбирается один, наиболее важный, который и стремятся сделать наилучшим, при этом на остальные (дополнительные) накладываются некоторые ограничивающие условия;

определяется наиболее общий показатель, поглощающий все частные, который должен являться одним из показателей эффективности системы более высокого ранга. Сеть радиосвязи общего пользования является одной из составляющих системы связи, предназначенной для передачи (приема) сообщений (пакетов) с заданным качеством в системе управления организациями. Определив прогнозируемый поток сообщений, предназначенный для прохождения по данной сети, мы задаем требование к ее эффективности (со стороны системы управления).

Несмотря на кажущуюся привлекательность первого пути, его применение затруднено. Это объясняется тем, что не всегда существуют объективные способы определения коэффициентов важности («веса») показателей. Поэтому при оценке эффективности сети радиосвязи общего пользования целесообразно воспользоваться вторым или третьим путём, либо их сочетанием.

Как правило, предлагается оценку эффективности разрабатываемых вариантов структуры сети радиосвязи общего пользования производить с помощью основного и дополнительных показателей.

Для достаточно полной характеристики сети радиосвязи общего пользования основной показатель эффективности должен учитывать все основные особенности и свойства СРС ОП, а также условия её функционирования и взаимодействия с внешней средой. При выборе показателя эффективности необходимо исходить из того, что он должен объективно характеризовать сеть радиосвязи общего пользования, отражать её целевое предназначение, быть чувствителен к изменению её основных параметров.

Так как основным функциональным предназначением сети радиосвязи общего пользования является передача (прием) на направлениях радиосвязи, в установленные сроки, потоков сообщений (пакетов), то в качестве основного должен выступать такой показатель, который позволил бы оценить СРС ОП с точки зрения ее способности своевременно передать прогнозируемый поток сообщений (пакетов) с требуемыми достоверностью и скрытностью. В качестве такого основного показателя может выступать среднее время передачи пакета ( $T_{\Pi}$ ) в СРС ОП в часы наибольшей нагрузки:

$$T_{\Pi} = L_{\text{M}} \sum_{S \in G} \frac{\lambda_S}{\lambda} T_S.$$

Это выражение позволяет представить среднее время передачи пакета в сети как произведение средней длины маршрута ( $L_{\text{M}} = \frac{\lambda}{Y}$ ) на среднее взвешенное время передачи ( $T_S$ ) по одному каналу.

Данный показатель зависит как от внутренних параметров СРС ОП, так и от параметров обстановки (внешней среды), характеризующих условия функционирования сети. Следовательно, выбранный основной показатель оценки эффективности СРС ОП соответствует требованиям, предъявляемым к показателям:

является представительным, то есть отражает основную цель функционирования СРС ОП и объективно характеризует степень её достижения;

является простым и наглядным, имеет ясный физический смысл;

является чувствительным (критичным) к изменениям основных параметров исследуемой сети;

легко может быть вычислен при использовании соответствующих моделей, в том числе и при использовании ЭВМ [3, 4].

Отсутствие возможности связать в рамках единой математической модели всё многообразие свойств сети с качеством обеспечиваемой связи не позволяет провести комплексную и всестороннюю оценку эффективности СРС ОП с помощью одного показателя. Поэтому, кроме основного, вводим дополнительные показатели.

В качестве дополнительных предлагается использовать показатели, характеризующие разведзащищенность и живучесть сети радиосвязи. Это обусловлено тем, что основной показатель не отражает свойства создаваемой сети радиосвязи по её разведзащищенности и живучести.

В качестве обобщённых показателей разведзащищённости СРС ОП обычно используют вероятность вскрытия разведкой противника структуры радиосети  $P_{\text{вскр}} \left( \bar{t}_{\text{вскр}} \leq \bar{t}_{\text{вскр.доп}} \right)$  и среднее время её вскрытия –  $\bar{t}_{\text{вскр}}$ .

Следует заметить, что более удобно судить о способности СРС ОП противостоять средствам разведки противника по времени её работы до вскрытия этими средствами. Поэтому в работе в качестве показателя разведзащищенности применяется среднее время вскрытия СРС ОП радиоразведкой противника.

Количественной мерой оценки живучести отдельных элементов сети радиосвязи общего пользования является вероятность их выживания ( $P_{\text{выж}}$ ), то есть вероятность того, что в случае воздействия на них соответствующих средств поражения противника, они сохранят свою работоспособность. Живучесть СРС ОП в целом характеризуется живучестью направлений радиосвязи, определяемой через вероятность выживания образующих их радиолиний и межузловых радиостанций.

Таким образом, количественная оценка эффективности функционирования разрабатываемой СРС ОП организации будет производиться по основному показателю – среднему времени передачи пакета ( $T_{\text{п}}$ ) на направлениях радиосвязи и дополнительным показателям – среднему времени вскрытия сети радиосвязи радиоразведкой противника и вероятности выживания направлений радиосвязи в СРС ОП.

#### Список используемых источников

1. Шаров А. Н. Автоматизированные сети радиосвязи. Л.: ВАС, 1998. 78 с.
2. Шаров А. Н., Степанец В. А., Комашинский В. И. Сети радиосвязи с пакетной передачей информации. СПб.: ВАС, 1994. 216 с.
3. Фомин Л. А., Будко П. А., Линец Г. И., Мухин А. В. Эффективность, цена и качество информационно-телекоммуникационных систем. Методы оптимизации: монография. Ставрополь: СВВИУС, 2010. 398 с.

4. Будко П. А., Шлаев Д. В., Рачков В. Е., Будко Н. П., Мишин Д. Ю. Модель синтеза пакетных радиосетей подвижных объектов. Свидетельство об отраслевой регистрации разработки № 12294. Ставрополь: СВВИУС, 2009.

*Статья представлена директором Института военного образования СПбГУТ, кандидатом педагогических наук, доцентом А. А. Лубяниковым.*

УДК 654.16/654(091)

## ОСНОВНЫЕ СПОСОБЫ ПРИМЕНЕНИЯ РОДОВ СВЯЗИ В АРКТИЧЕСКОМ РЕГИОНЕ

**Е. А. Беспалый<sup>1</sup>, Д. А. Калмыков<sup>2</sup>, В. И. Мосеев<sup>3</sup>, И. Н. Репьев<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский научно-исследовательский университет  
информационных технологий, механики и оптики

<sup>2</sup>Военная академия связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного

<sup>3</sup>Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

*Статья посвящена основным способам применения родов связи в Арктическом регионе. Раскрываются наиболее перспективные рода связи с точки зрения обеспечения услугами связи, для северных территорий России. Обосновывается приоритетность создания и использования системы спутниковой связи и вещания в Арктическом регионе с использованием космических аппаратов на высокоэллиптических орбитах. Показываются наиболее эффективные пути реализации различных родов связи в данном регионе с учетом социально-экономического и культурного развития нашей страны, при обязательном соблюдении экологических норм и требований. Объясняется проблемы организации радиосвязи в арктическом регионе.*

*информационно-телекоммуникационная инфраструктура, спутниковая связь, радиосвязь, лётно-подъемные средства, адаптивные высокочастотные радиосистемы.*

Приоритетами Российской Федерации в Арктической зоне являются: активное освоение природных ресурсов региона, развитие транспортной и пограничной инфраструктуры, а также информационно-телекоммуникационной среды, которые направлены на защиту национальных интересов.

В целях развития информационных технологий и связи и формирования единого информационного пространства в Арктической зоне Российской Федерации предусматриваются:

а) внедрение современных информационно-телекоммуникационных технологий и систем;

б) создание надежной системы оказания услуг связи, навигационных, гидрометеорологических и информационных услуг;

в) создание современной информационно-телекоммуникационной инфраструктуры [1].

Создание информационно-телекоммуникационной инфраструктуры в Арктической зоне затруднено не только технически, но и в организационном плане.

Уже в течение последних десятилетий разрабатываются различные проекты создания систем связи для Арктической зоны, однако ни один из них не получил практического воплощения.

Использование геостационарных спутников для обслуживания арктического региона ограничено в связи с малыми углами места северных территорий, находящихся выше 70 градуса с. ш., по отношению к данным спутникам. Принципиально задача может быть решена с помощью использования группировки высокоэллиптических спутников либо низкоорбитальных аппаратов. Одним из последних проектов является проект «Арктика». Он строится из двух подсистем с разными орбитальными структурами. Однако реализация этого проекта довольно призрачна из-за больших сроков окупаемости.

В полном объеме целевые задачи по созданию полноценной высокоскоростной телекоммуникационной инфраструктуры в Арктической зоне могут обеспечить спутники на орбитах типа «Гундра». Выбор такого типа орбит в первую очередь обусловлен возможностью доведения срока службы спутника до 15 лет, что очень проблематично обеспечить для спутников на эллиптической орбите типа «Молния» вследствие сильного воздействия пересекаемых радиационных поясов Земли. В то же время данные задачи проще решить с использованием низколетящих спутников, которые должны иметь полезную нагрузку, интегрированную с ретрансляторами для подвижной связи. То есть при проектировании должен быть системный подход [2].

Многие специалисты предлагают различные решения в техническом плане:

устанавливать на объектах связи в Арктической зоне антенные системы с диаметром зеркала 4,8 или 3,8 м и облучающей системой от них с меньшим на один шаг диаметром зеркала 3,8 или 2,4 м соответственно. Это приведет к небольшим потерям мощности, связанным с недооблучением зеркала, но существенно снизит влияние подстилающей поверхности, так как морская вода и морской лед имеют существенно меньшую шумовую температуру, чем поверхность суши;

развивать адаптивные высокочастотные радиосистемы, в том числе по ионосферным каналам.

Но более целесообразным является создание глобальной системы спутниковой связи и мониторинга, которая охватывает арктический регион, решая насущные и перспективные задачи.



Наиболее перспективным с точки зрения обеспечения услугами связи северных территорий России является проект создания системы спутниковой связи и вещания с использованием космических аппаратов на высокоэллиптических орбитах – «Экспресс-РВ».

Такая система будет обладать рядом преимуществ:

зона обслуживания – вся территория России, включая Арктическую зону;

углы места работы земных станций через космические аппараты на высокоэллиптической орбите составят из любой точки России не менее 40 градусов, а в большинстве регионов – 60–90 градусов.

На базе такой системы эти преимущества позволят создать сети связи различного назначения, которые обеспечат надежную связь и вещание в Арктической зоне, а также подвижную связь и непосредственное звуковое вещание на всей российской территории [3].

С использованием средств КВ диапазона наиболее целесообразно организовывать радиосвязь на расстоянии от 2000 до 3000 км со скоростью передачи около 2 кбит/с при передаче дискретных сообщений [4].

Несмотря на то, что сверхдлинные и длинные волны (СДВ и ДВ) хорошо огибают поверхность Земли и слабо поглощаются ее поверхностью, широкая организация радиосвязи на этих волнах экономически не эффективна из-за огромных антенных устройств, сверхвысоких мощностей передатчиков, малого числа рабочих частот в диапазонах и сверхнизких скоростей передачи информации. Следовательно, связь на СДВ и ДВ наиболее целесообразно организовывать с подземными объектами, подводными лодками, а также для передачи специальных сигналов оповещения и оперативных особо важных команд.

Что касается радиосвязи в декаметровом диапазоне волн, то она в Арктической зоне не всегда надежная из-за полярных сияний. Они возникают заметно чаще весной и осенью, чем зимой и летом. Во время полярного сияния за короткое время выделяется огромное количество энергии, что в свою очередь ведёт к образованию магнитных бурь и суббурь, как её составляющих. В ходе магнитной бури повышается вероятность сбоев в системах передачи и обработки информации.

На основе большого статистического материала определены особенности прохождения радиосигналов на КВ радиоперелиниях связи в авроральном овале. В спокойных условиях, надёжность связи низкая из-за влияния главного ионосферного провала. Для слабой и умеренной геомагнитной активности надёжность высокая, особенно для вечерних и ночных часов зимы. Для сильной магнитной активности (бури, суббури) надёжность становится низкой из-за аврорального поглощения [5].

Поэтому средневолновые радиостанции будут использоваться в Арктической зоне для резервирования КВ радиосвязи при ионосферных возмущениях.

Кроме этого, организация радиосвязи в арктическом регионе усложняется из-за суровых климатических условий (снег, ветер и холод), которые приводят к повышению энергопотребления и снижают мобильность подвижных средств связи из-за увеличения массогабаритных показателей энергоустановок и затрат времени на развертывание и свертывание радиостанций. Следовательно, КВ радиосвязь в Арктической зоне целесообразно использовать в качестве резервной связи в чрезвычайных ситуациях [6].

В ультракоротковолновом (УКВ) диапазоне при организации метеорной связи можно добиться высокой помехозащищенности, скрытности и значительно меньшей мощности излучения передатчиков в сравнении с ионосферными радиолиниями, где на локальных неоднородностях происходит сильное рассеяние УКВ. Это достигается на частотах от 30 до 60 МГц и расстоянии до 2000 км, учитывая направленные свойства волн от ионизированных метеорных следов

Но метеорная связь имеет ряд недостатков:

непредсказуемый характер прерывания связи до нескольких минут;  
необходимость создания сложной аппаратуры автоматического обнаружения и контроля состояния высоко ионизированных метеорных следов;  
использование накопителей информации большой емкости.

Следовательно, наиболее целесообразным будет путь построения «смешанной» метеорно-ионосферной радиолинии. При этом осуществляется непрерывная передача в узкополосном канале за счет ионосферного рассеяния, а при появлении метеорных следов включается дополнительный метеорный канал для передачи основного объема менее срочной информации [5].

При организации связи в Арктической зоне следует обратить внимание на возможность широкого использования лётно-подъемных средств (ЛПС) с ретрансляторами на борту для организации радиорелейной и УКВ радиосвязи. В настоящее время существуют технологии по эффективному производству и внедрению малогабаритных ЛПС, которые удерживаются на тросах. Трос применяется и в качестве однопроводной физической цепи для передачи сигналов электросвязи для управления этим средством. Подобного рода высотно-поднятые антенны эффективны в диапазоне частот от 30 до 500 МГц и имеют временные ограничения лишь по длительности функционирования ЛПС, которая составляет несколько суток [2].

В связи с развитием беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) и уменьшением массогабаритных характеристик приёмопередающей аппаратуры появляется возможность их применения, как носителей ретрансляторов УКВ радиоканалов. Современные БПЛА могут длительное время находиться в воздухе без дозаправки и применяться без аэродромной инфраструктуры, что немаловажно для слабо развитых районов Арктической зоны.

Для успешной реализации государственной стратегии в освоении Арктической зоны необходимо создание информационно-телекоммуникационной инфраструктуры, в рамках которой должен обеспечиваться сбор, анализ, обработка, хранение и распределение информации об обстановке в регионе, поступающей от различных ведомств, доступ их пользователей к необходимой информации и функционирование систем управления военного и гражданского назначения. При этом важно учитывать наиболее эффективные пути реализации различных родов связи в данном регионе с учетом социально-экономического и культурного развития нашей страны, при обязательном соблюдении экологических норм и требований.

#### Список используемых источников

1. Стратегия развития Арктической зоны РФ и обеспечения национальной безопасности на период до 2020 года (Утверждена Президентом Российской Федерации 08.03.2013 года № ПР-231).

2. Калмыков Д. А., Мосеев В. И., Репьев И. Н. Перспективы развития современной информационно-телекоммуникационной инфраструктуры арктической зоны в интересах обеспечения военной безопасности // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. IV Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сборник научных статей в 2 томах / Под. ред. С. В. Бачевского. 2015. Т. 2. С. 1275–1280.

3. Серков В. П. Распространение радиоволн и антенные устройства. Л.: ВАС, 1981.

4. Ясинский С. А. О приоритетности родов связи в арктической зоне РФ // Личность и культура – 2005. – № 3. – Режим доступа: <http://lichnost-kultura.narod.ru/2005/20053/2005311/2005311.htm> (дата обращения 30.03.2017).

5. Благовещенский Д. В. Эффекты суббурь в распространении КВ волн в авроральном овале // Геомагнетизм и аэрономия. 2006. Т. 46. № 2.

6. Головин О. В., Мамаев Н. С. Использование коротковолновых и спутниковых систем связи при чрезвычайных ситуациях // Электросвязь. 1999. № 5.

УДК 621.396.4

## МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ ОЦЕНКА РАЗМЕЩЕНИЯ ЛИНИЙ В ПОЛЕВОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ СВЯЗИ

Ю. Н. Богданова<sup>1</sup>, И. И. Горай<sup>1</sup>, Д. А. Журавлёв<sup>1</sup>, Д. С. Самаркин<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Военная академия связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

*Часть линий стационарной сети связи в особый период может быть уничтожена. В этих условиях, задача по обеспечению связи на заданных направлениях будут воз-*

ложены на полевую транспортную сеть связи. В сети связи для доставки сообщений различных классов важности между корреспондирующими узлами связи необходимо иметь различное количество независимых маршрутов. В статье представлен порядок размещения дополнительных линий в полевой транспортной сети. В качестве критериев оценки размещения линии выбраны ее длина и число остовных деревьев в сети после ее введения.

маршрут, транспортная сеть, граф, остовные деревья.

Часть линий стационарной сети связи в особый период может быть уничтожена. В этих условиях, задача по обеспечению связи на заданных направлениях будут возложены на полевую транспортную сеть связи (рис. 1).

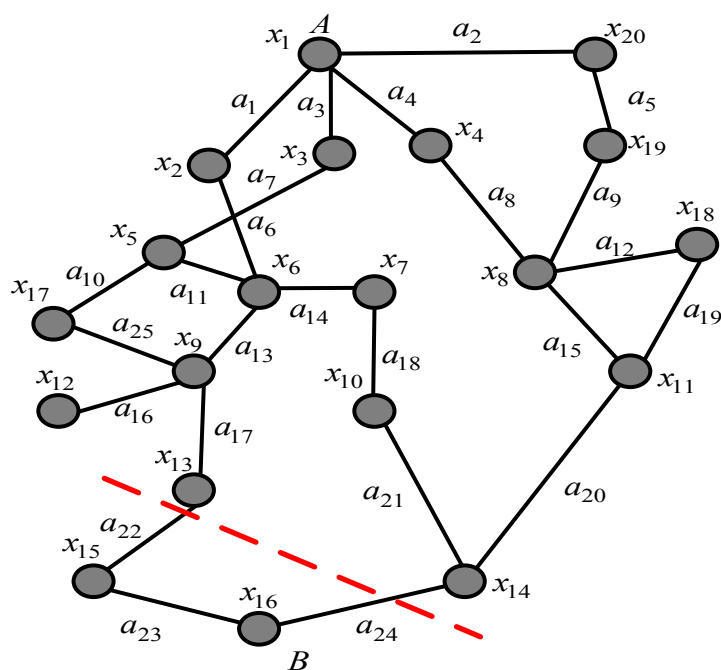


Рис. 1. Вариант полевой транспортной сети связи

В сети связи для доставки сообщений различных классов важности между корреспондирующими узлами связи необходимо иметь различное количество независимых маршрутов. Для доставки сообщений 3 класса – 1 маршрут, 2 класса – 2 маршрута и 1 класса 3 независимых маршрута [1]. Топология существующей полевой транспортной сети связи может не удовлетворять требованиям по наличию независимых маршрутов доставки сообщений. В этом случае возникает необходимость введения дополнительных линий связи с целью того, чтобы между корреспондирующими узлами было 3 независимых маршрута.

Поскольку существует множество вариантов по выбору мест прокладки дополнительных линий, то задача выбора лучшего варианта является многокритериальной. По определенным соображениям в первую очередь

учитывают длину прокладываемой линии и длину маршрутов, а во вторую связность сети (число образуемых остовных деревьев).

Для решения поставленной задачи представим полевою транспортную сеть связи в виде неориентированного графа  $G$  с множеством вершин  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ , в качестве которых выступают сетевые узлы и станции, а также ребер  $U = \{u_{ik}\}$  в качестве которых выступают линии связи. Каждой линии присвоим определенный вес, которым является их длина и составим матрицу смежности  $A = \|a_{ik}\|$  [2].

Решение задачи начинается с введения в граф сети одного ребра, которое имеет меньшую длину, и линия может быть построена быстрее с помощью существующих средств. Далее для заданной пары узлов (для пары узлов для которых  $n < 3$ ) вычисляются с помощью, например алгоритма Дейкстры, маршруты между ними, причем на каждом этапе расчета из графа исключаются ребра (линии связи) и узлы задействованные при построении предыдущего маршрута доставки сообщений и снова вычисляется кратчайший маршрут и т. д. Если между корреспондирующими узлами число независимых маршрутов  $n$  не удовлетворяет условию  $n \geq 3$ , то производится замена предыдущей линии другой, которая как и прежде, по нашему мнению, может быть быстрее развернута и с меньшими затратами. Далее процесс повторяется, начиная с работы алгоритма Дейкстры до установления факта  $n \geq 3$ . Следует иметь ввиду, что если степень хотя бы одного из корреспондирующих узлов  $A$  и  $B$  графа сети равна двум, то при условии, что требуется обеспечить  $n \geq 3$ , развертываемая линия связи должна начинаться с этого узла. Для представленной на рис. 1 сети таким узлом является корреспондирующий узел  $x_{16}$  ( $B$ ).

Если позволяет время, то можно просмотреть и оценить некоторое множество вариантов введения (использования) развертываемых линий связи. В этом случае требуется ввести определенное множество линий, и для каждой из них при условии  $n \geq 3$  сформировать множество конкурентных вариантов.

Пример. На рис. 1 задана сеть в которой необходимо обеспечить между корреспондирующими узлами  $x_1$  ( $A$ ) и  $x_{16}$  ( $B$ ) условие  $n \geq 3$ . Вариант построения дополнительной линии должен быть принят с учетом максимизации числа остовных деревьев, параметра, учитывающего общее увеличение связности сети. Приняты ограничения: ресурс сил и средств позволяет построить линию длиной не более 70 км.

С использованием алгоритма Дейкстры вычисляются маршруты доставки сообщений между корреспондирующими узлами. Результаты вычислений представлены в таблице 1.

На рис. 2 маршруты доставки сообщений изображены пунктирной линией с соответствующими обозначениями 1 и 2 соответственно.

ТАБЛИЦА 1. Результаты вычисления маршрутов доставки сообщений между корреспондирующими узлами

Номер маршрута	Задействованные узлы связи	Задействованные линии связи	Протяженность линий в маршруте, км	Общая протяженность маршрута, км
1	$x_1, x_4, x_8, x_{11}, x_{14}, x_{16}$	$a_4, a_8, a_{15}, a_{20}, a_{24}$	20, 40, 15, 50, 35	160
2	$x_1, x_2, x_6, x_9, x_{13}, x_{15}, x_{16}$	$a_1, a_6, a_{13}, a_{17}, a_{22}, a_{23}$	40, 30, 20, 40, 30, 35	195

В нашем случае, как видно из рис. 2, «узким» местом является сечение сети между узлами  $x_{13}$  и  $x_{14}$ . В данном месте для узла  $x_{16}$  ( $B$ ) его степень равна двум, что не позволяет удовлетворить требованию  $n \geq 3$ . Из этого следует, что все дополнительные линии связи должны быть инцидентны узлу  $x_{16}$  ( $B$ ) (начинаться с этого узла).

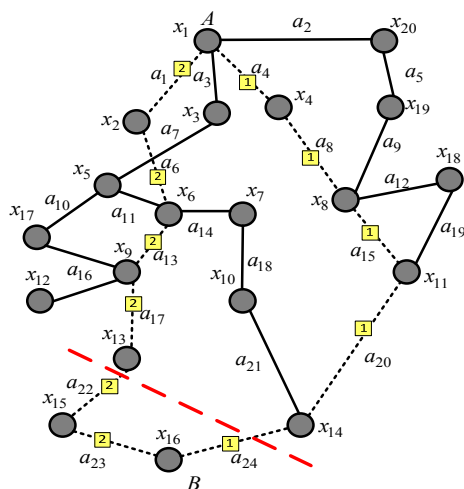


Рис. 2. Маршруты в полевой транспортной сети связи

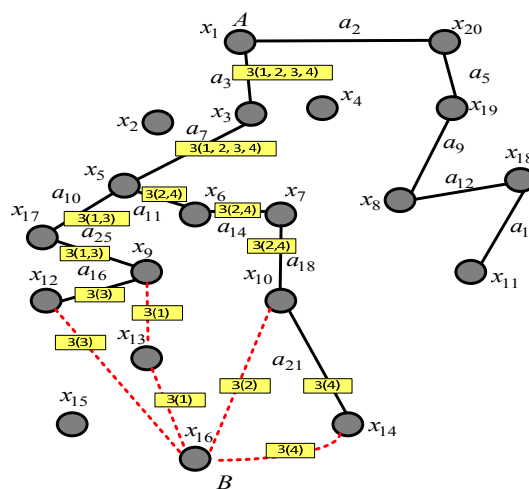


Рис. 3. Варианты прокладки дополнительной линии в полевой транспортной сети связи

Выбраны возможные 4 варианта прокладки дополнительных линий, которые представлены в таблице 2 и на рис. 3. Для наглядности линии, задействованные при построении первого и второго маршрута на рис. 3 исключены. Номер маршрута указан на линии в прямоугольнике, а ее вариант в скобках. Некоторые линии имеют несколько номеров. Они используются в нескольких вариантах.

ТАБЛИЦА 2. Четыре варианта прокладки дополнительных линий

Вариант прокладки	Задействованные узлы связи	Задействованные линии связи	Протяженность линий в маршруте, км	Общая протяженность маршрута, км	Доп. линия
1	$x_1, x_3, x_5, x_{17}, x_9, x_{13}, x_{16}$	$a_3, a_7, a_{10}, a_{25}, a_{26}, a_{27}$	20, 40, 20, 20, 40, 30	170	$x_9 - x_{13}, x_{13} - x_{16}$ (40, 30 км)
2	$x_1, x_3, x_5, x_6, x_7, x_{10}, x_{16}$	$a_3, a_7, a_{11}, a_{14}, a_{18}, a_{26}$	20, 40, 20, 15, 35, 60	190	$x_{10} - x_{16}$ , (60 км)
3	$x_1, x_3, x_5, x_{17}, x_9, x_{12}, x_{16}$	$a_3, a_7, a_{10}, a_{25}, a_{16}, a_{26}$	20, 40, 20, 20, 20, 60	180	$x_{12} - x_{16}$ , (60 км)
4	$x_1, x_3, x_5, x_6, x_7, x_{10}, x_{14}, x_{16}$	$a_3, a_7, a_{11}, a_{14}, a_{18}, a_{21}, a_{26}$	20, 40, 20, 15, 35, 40, 35	207	$x_{14} - x_{16}$ (35 км)

Перейдем к оценке изменения (улучшения) общей связности сети через расчет и оценку величины числа остовных деревьев.

Число остовных деревьев для каждого варианта представлено в таблице 3.

ТАБЛИЦА 3. Число остовных деревьев для каждого варианта

Вариант прокладки линии	Число остовных деревьев
Без дополнительной линии	12741
1	54424
2	31550
3	45687
4	16745

Выбор варианта прокладки линии связи в рассматриваемой сети, представленной на рис. 1, может быть решена при следующих критериях: длина прокладываемой линии  $l \rightarrow \min$  (вариант 4, см. табл. 2), либо число остовных деревьев  $A \rightarrow \max$  (вариант 1, см. табл. 3), либо путем многокритериальной оценки.

В последнем случае можно задаться условиями  $l \rightarrow \min$  при  $A \rightarrow \max$ . В этом случае для определения оптимального варианта прокладки линии связи будем учитывать вариант в котором приращение числа

остовных деревьев максимально по сравнению с исходным вариантом сети (табл. 4).

ТАБЛИЦА 4. Варианты приращения числа остовных деревьев

Вариант прокладки линии	Длина линии, км	Число остовных деревьев	$\Delta$ числа остовных деревьев
1	70	54424	41683
2	60	31550	18809
3	60	45687	32946
4	35	16745	4004

По мнению авторов, предпочтительным является третий вариант прокладки линии (подсвечен цветом в табл. 4), который позволяет использовать не самый большой ресурс при сравнительно большом увеличении числа остовных деревьев (два заданных показателя одновременно стремятся к установленным требованиям).

Многокритериальная оценка позволяет выбрать оптимальный вариант размещения линий в транспортной сети связи при заданных требованиях.

#### Список используемых источников

1. Журавлёв Д. А., Прасько Г. А., Проценко М. С., Романюк В. А. Выбор оптимального пути доставки информационных потоков в полевой первичной сети связи // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. VI Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сб. науч. ст. в 2 т. / Под. ред. С. В. Бачевского. СПб.: СПбГУТ, 2015. С. 1215–1220.

2. Кристофидес Н. Теория графов. Алгоритмический подход; пер. с англ. Э. В. Вершкова и И. И. Коновальцева / Под ред. Г. П. Гаврилова. М.: Мир, 1978. 148 с.

УДК: 621.396.4

## МЕТОДИКА РАЗМЕЩЕНИЯ ЛИНИИ РЕЗЕРВИРОВАНИЯ В ПОЛЕВОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ СВЯЗИ

А. П. Бойко<sup>1</sup>, Д. А. Журавлёв<sup>1</sup>, Д. С. Самаркин<sup>2</sup>, И. Д. Седунова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Военная академия связи имени Маршала Советского Союза С.М. Буденного

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

*Классическая задача размещения линии резервирования в полевой транспортной сети связи решается методом корреспондирующих узлов. В современных условиях,*



как правило, обмен трафиком осуществляется между всеми узлами в сети. В этих условиях в любой момент времени все узлы по отношению друг к другу будут корреспондирующими. В статье представлена методика размещения линий резервирования в полевой транспортной сети, в которой узлы в любой момент времени могут быть взаимно корреспондирующими. В качестве критерия оценки размещения линии выбрано число остовных деревьев в сети после ее введения.

методика, транспортная сеть, граф, остовные деревья.

Классическая задача размещения линии резервирования в полевой транспортной сети связи решается методом корреспондирующих узлов. В современных условиях, как правило, обмен трафиком осуществляется между всеми узлами в сети. В этих условиях в любой момент времени все узлы по отношению друг к другу будут корреспондирующими. Если в качестве показателя эффективности варианта размещения линии резервирования на сети выбрать число остовных деревьев (связность сети), то задача по ее размещению может быть сформулирована следующим образом. При заданной длине линии резервирования необходимо выбрать такой вариант, чтобы число остовных деревьев было максимальным.

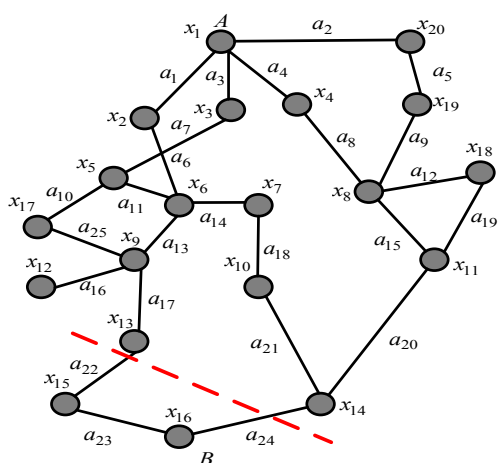


Рис. 1. Вариант полевой транспортной сети связи

Для размещения линии резервирования представим полевую транспортную сеть связи (рис. 1) в виде неориентированного графа  $G$  с множеством вершин  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ , в качестве которых выступают сетевые узлы и станции, а также ребер  $U = \{u_{ik}\}$  в качестве которых выступают линии связи. Каждой линии присвоим определенный вес, которым является их длина и составим матрицу смежности  $A = \|a_{ik}\|$  [1].

Для представленной сети из 20 узлов существует 190 вариантов соединения пары узлов линий связи и  $2^{190}$  вариантов

расположения линий связи, включая и множество тривиальных случаев. При современной производительности компьютеров на решение такой задачи потребуется несколько сотен лет, что порождает необходимость поиска других способов вычисления работающих в реальном времени. Решение задачи за приемлемое время возможно за счет использования эвристических (приближенных) способов вычисления, позволяющих получить решение не хуже заданного. Для упрощения переборной задачи и сокращения операций по вычислению сформулируем методику размещения линии резервирования в полевой транспортной сети связи.

Методика включает в себя следующие этапы.

Первый этап: условное разбиение полевой транспортной сети на подсети. В качестве критерия деления может выступать территориальное размещение узлов, их подчиненность или ведомственная принадлежность и т. д.

Второй этап: определение центрального узла связи в подсети. Эта задача может быть решена по типу минисуммных задач, если представить сеть в виде неориентированного графа (первый вариант) или нахождения внешневнутреннего центра, если представить подсеть в виде ориентированного графа (второй вариант) [1]. Первый вариант применяется, когда необходимо осуществлять оценку между всеми корреспондирующими узлами в подсети. Второй вариант целесообразно использовать, если в подсети заранее определены корреспондирующие узлы.

Третий этап: вводятся линии резервирования между центральными узлами подсетей и вычисляется связность полевой транспортной сети связи.

Четвертый этап: оценивается выполнение условия  $A^* \leq A$ , где  $A^*$  – требуемое число остовных деревьев,  $A$  – число остовных деревьев, после введения линии резервирования.

Пример. На рис. 1 задана сеть, в которую необходимо ввести линии резервирования. Приняты ограничения: ресурс сил и средств позволяет построить линию длиной не более 150 км. Требуемое число остовных деревьев  $A^* = 20000$ . Таблица смежности сети  $A = \|a_{ik}\|$  записана в (1).

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 40 & 20 & 20 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 40 \\ 40 & 0 & 0 & 0 & 0 & 30 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 20 & 0 & 0 & 0 & 40 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 20 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 40 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 40 & 0 & 0 & 20 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 20 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 30 & 0 & 0 & 20 & 0 & 15 & 0 & 20 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 15 & 0 & 0 & 0 & 35 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 40 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 15 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 15 & 25 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 20 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 20 & 40 & 0 & 0 & 0 & 20 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 35 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 40 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 15 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 50 & 0 & 0 & 0 & 35 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 20 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 40 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 30 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 40 & 50 & 0 & 0 & 0 & 0 & 35 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 30 & 0 & 0 & 35 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 35 & 35 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 20 & 0 & 0 & 0 & 20 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 15 & 0 & 0 & 35 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 25 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 20 \\ 40 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 20 & 0 \end{pmatrix}. \tag{1}$$

На первом этапе разобьём заданную сеть на подсети, по ведомственной принадлежности (рис. 2) и определим узлы связи, входящие в каждую подсеть.

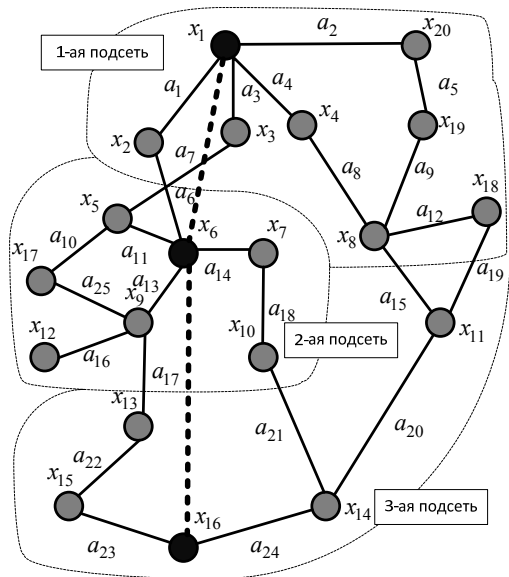


Рис. 2. Деление сети на подсети и размещение линии резервирования в полевой транспортной сети связи

В подсети входят следующие узлы: первая  $x_1, x_2, x_3, x_4, x_8, x_{16}, x_{18}, x_{19}, x_{20}$ ; вторая  $x_5, x_6, x_7, x_9, x_{10}, x_{12}, x_{17}$ ; третья:  $x_{11}, x_{13}, x_{14}, x_{15}, x_{16}$ .

На втором этапе определим центральный узел связи в подсети с помощью решения минисуммной задачи.

Представим первую подсеть в виде неориентированного графа  $D_1(G)$ . Матрица расстояний графа имеет вид:

$$D_1(G) = \begin{vmatrix} & x_1 & x_2 & x_3 & x_4 & x_8 & x_{18} & x_{19} & x_{20} \\ x_1 & 0 & 40 & 20 & 20 & 60 & 75 & 60 & 40 \\ x_2 & 40 & 0 & 60 & 60 & 100 & 115 & 100 & 80 \\ x_3 & 20 & 60 & 0 & 40 & 80 & 95 & 80 & 60 \\ x_4 & 20 & 60 & 40 & 0 & 40 & 55 & 65 & 60 \\ x_8 & 60 & 100 & 80 & 40 & 0 & 15 & 25 & 45 \\ x_{18} & 75 & 115 & 95 & 55 & 15 & 0 & 40 & 60 \\ x_{19} & 60 & 100 & 80 & 65 & 25 & 40 & 0 & 20 \\ x_{20} & 40 & 80 & 60 & 60 & 45 & 60 & 20 & 0 \end{vmatrix}.$$

Протяженность линий для того или иного узла связи в первой подсети представлена в табл. 1. Исходя из расстояний до всех узлов связи в первой подсети центральным узлом связи является  $x_1$ .

ТАБЛИЦА 1. Протяженность линий для узлов связи в первой подсети

УС	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_8$	$x_{18}$	$x_{19}$	$x_{20}$
Расстояние	315	555	435	340	365	455	390	365

Матрица расстояний графа второй подсети имеет вид:

$$D_2(G) = \begin{vmatrix} & x_5 & x_6 & x_7 & x_9 & x_{10} & x_{12} & x_{17} \\ x_5 & 0 & 20 & 35 & 40 & 70 & 60 & 20 \\ x_6 & 20 & 0 & 15 & 20 & 50 & 40 & 40 \\ x_7 & 35 & 15 & 0 & 35 & 35 & 55 & 55 \\ x_9 & 40 & 20 & 35 & 0 & 70 & 20 & 20 \\ x_{10} & 70 & 50 & 35 & 70 & 0 & 90 & 90 \\ x_{12} & 60 & 40 & 55 & 20 & 90 & 0 & 40 \\ x_{17} & 20 & 40 & 55 & 20 & 90 & 40 & 0 \end{vmatrix}.$$

Протяженность линий для того или иного узла связи во второй подсети представлена в табл. 2. Во второй подсети центральным узлом связи является  $x_6$ .

ТАБЛИЦА 2. Протяженность линий для узлов связи во второй подсети

УС	$x_5$	$x_6$	$x_7$	$x_9$	$x_{10}$	$x_{12}$	$x_{17}$
Расстояние	245	185	230	205	405	305	265

Матрица расстояний графа третьей подсети имеет вид:

$$D_3(G) = \begin{matrix} & & x_{11} & x_{13} & x_{14} & x_{15} & x_{16} \\ \begin{matrix} x_{11} \\ x_{13} \\ x_{14} \\ x_{15} \\ x_{16} \end{matrix} & \begin{matrix} 0 \\ 150 \\ 50 \\ 120 \\ 85 \end{matrix} & \begin{matrix} 150 \\ 0 \\ 110 \\ 30 \\ 65 \end{matrix} & \begin{matrix} 50 \\ 110 \\ 0 \\ 70 \\ 35 \end{matrix} & \begin{matrix} 120 \\ 30 \\ 70 \\ 0 \\ 35 \end{matrix} & \begin{matrix} 85 \\ 65 \\ 35 \\ 35 \\ 0 \end{matrix} \end{matrix}.$$

Протяженность линий для того или иного узла связи в третьей подсети представлена в табл. 3. В третьей подсети центральным узлом связи является  $x_6$ .

Структура полевой транспортной сети связи с введенной линией резервирования между центральными узлами связи представлена на рис. 2.

ТАБЛИЦА 3. Протяженность линий узлов связи в третьей подсети

УС	$x_{11}$	$x_{13}$	$x_{15}$	$x_{14}$	$x_{16}$
Расстояние	405	355	255	265	220

Третий этап. Перейдем к оценке изменения (улучшения) общей связности сети через расчет и оценку величины числа остовных деревьев.

Для построения полного списка остовных деревьев графа  $G$  используется теорема, представленная в [1]. Пусть  $G$  –  $n$ -вершинный граф без петель и  $B_0$  – его матрица инцидентий с одной удаленной строкой (т. е. с  $n-1$  независимыми строками). Пусть  $B'_0$  – транспонированная матрица к  $B_0$ . Тогда определитель  $|B_0 \cdot B'_0|$  равен числу различных остовных деревьев графа  $G$ .

Число остовных деревьев для каждого варианта представлено в табл. 4.

ТАБЛИЦА 4. Число остовных деревьев

Вариант	Число остовных деревьев
Без дополнительной линии	12741
С введением линий резервирования	62852

Четвертый этап. Сравним полученное число остовных деревьев с требуемым  $A^* \leq A$ . В примере  $20000 \leq 62852$ . Условие выполняется.

Представленная методика позволяет сократить время на вычисление размещения линий резервирования в полевой транспортной сети связи, при условии того, что они в каждый момент времени по отношению к друг к другу могут быть корреспондирующими.

#### Список используемых источников

1. Кристофидес Н. Теория графов. Алгоритмический подход; пер. с англ. Э. В. Вершкова и И. И. Коновальцева / Под ред. Г. П. Гаврилова. М.: Мир, 1978. 148 с.

УДК 621.396.43

## ПОТЕРИ РАДИОСИГНАЛА ПРИ РАСПРОСТРАНЕНИИ НА ИНТЕРВАЛЕ РАДИОРЕЛЕЙНЫХ ЛИНИЙ

А. А. Бурлаков<sup>1</sup>, А. Н. Дробяскин<sup>2</sup>, А.Н. Музыкантов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Военная академия связи имени маршала Советского Союза С.М. Буденного

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

*Требуемое качество связи на радиорелейном интервале и линии в целом может быть обеспечено при соответствии параметров радиорелейных комплексов заданным нормам, правильном назначении радиоданных и обоснованном выборе интервалов радиорелейной линии. Для обеспечения связи на интервалах радиорелейной линии с требуемым качеством необходимо учитывать суммарные потери радиосигнала на интервале связи.*

*радиосигнал, интервал, рельеф местности, ослабление, потери.*

Суммарные потери радиосигнала на интервале радиорелейной линии (РРЛ) имеют несколько составляющих и определяются с помощью выражения (в децибелах):

$$W_{\Sigma} = W_{\text{св}} + W_{\text{р}} + W_{\text{д}} + \Delta W_3,$$

где  $W_{\text{св}}$  – ослабление радиосигнала при распространении в свободном пространстве;  $W_{\text{р}}$  – ослабление радиосигнала из-за рельефа местности на интервале связи;  $W_{\text{д}}$  – ослабление радиосигнала в дожде;  $\Delta W_3$  – запас на замирания сигнала в точке приема.

Рассмотрим более подробно составляющие суммарного ослабления.

1. Ослабление в свободном пространстве определяется выражением:

$$W_{\text{св}} = 10 \lg \left( \frac{4\pi R_i}{\lambda} \right) = 122 + 20 \lg \frac{R_i, \text{ км}}{\lambda, \text{ см}}.$$

Свободное пространство представляет собой однородную непоглощающую среду, для которой диэлектрическая и магнитная проницаемости равны  $\varepsilon_0 = 1$ ,  $\mu_0 = 1$ .

В свободном пространстве выполняются условия:

$$V_{\text{ф}} = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \cdot \mu_0}} = c = 3 \cdot 10^8, \text{ м/с}; \quad \lambda_0 = \frac{c}{f}.$$

2. Ослабление за счет рельефа местности обусловлено наличием препятствий на снятых профилях интервалов и рассчитывается с помощью выражения:

$$\Delta f_c = 2F_m \cdot n_m,$$

где  $V_p$  – множитель ослабления из-за рельефа местности;  $\Phi$  – модуль эффективного коэффициента отражения подстилающей поверхности;  $\Delta r$  – разность хода прямого и отраженного лучей;  $\beta$  – изменение фазы в результате отражения;  $\frac{2\pi}{\lambda} \Delta r$  – сдвиг фаз прямого и отраженного лучей.

Ослабление радиосигнала на интервале связи из-за рельефа местности обусловлено экранирующим действием различных препятствий и возникновением отраженных от подстилающей поверхности радиоволн, которые приходят в антенну корреспондента вместе с прямой волной и могут ослабить средний уровень сигнала в точке приема. При проектировании РРЛ потери за счет рельефа стараются сделать минимальными путем выбора соответствующих мест развертывания радиорелейных комплексов (РРК).

3. Ослабление радиосигнала за счет дождя определяется выражением:

$$W_d = 10 \lg \gamma_d \cdot l, \quad (1)$$

где  $\gamma_d$  – погонное поглощение радиосигнала в дождь, дБ/км;  $l$  – эквивалентная длина трассы распространения радиосигнала в дождь.

Ослабление радиосигнала в дождь намного превышает потери при наличии других осадков: снега, тумана.

В связи с этим на частотах свыше 10 ГГц протяженность интервала РРЛ ограничивается только ослаблением в дождь:

$$l = \frac{R_i}{1 + \frac{R_i}{35e^{-0,15 \cdot i}}},$$

где  $i$  – интенсивность дождя.

Для выражения (1) разработана карта мира с изолиниями интенсивности дождя  $i$ , которые не превышаются в течение 0,01 % времени года

для данной местности. Согласно этой карте изолиний, для европейской части России в течение 0,01 % времени года интенсивность дождя не превышает  $i = 30$  мм/ч.

В этом случае:

$$l_3 = \frac{R_i}{1 + 0,045R_i}.$$

4. Запас на замирания радиосигнала в точке приема. На интервале РРЛ в приемную антенну корреспондента помимо основного прямого луча могут приходить сигналы, отраженные как от поверхности Земли, так и от вышележащих слоистых неоднородностей тропосферы.

Рассмотрим луч, отраженный от Земли. В дециметровом и сантиметровом диапазонах волн неровности подстилающей земной поверхности создают отраженный луч, который может попасть в антенну корреспондента. Для сухопутных трасс отношение мощности прямого луча к мощности сигнала, отраженного от Земли, имеет типовое значение 6–10 дБ.

Луч при отражении от Земли меняет фазу на  $180^\circ$  и его энергия может вычитаться из энергии прямого луча в точке приема. При изменении градиента диэлектрической проницаемости атмосферы разность фаз прямого и отраженного лучей будет меняться, приводя к медленным флуктуациям амплитуды суммарного сигнала в точке приема.

Отражения радиосигнала от слоистых неоднородностей тропосферы (на высоте 100–200 м) вызывают глубокие и быстрые замирания суммарного сигнала в точке приема за счет перемещения тропосферных слоев. Отраженные лучи имеют запаздывание за счет разности хода по отношению к прямому (основному) лучу до 6, не вызывая расширения принимаемых импульсов радиосигнала и межсимвольных искажений (МСИ). Многолучевость сигнала в точке приема приводит к флуктуациям суммарного уровня, межсимвольным искажениям и в итоге к ограничению скорости передаваемой по РРЛ информации.

Общая картина замираний суммарного сигнала на интервале РРЛ является достаточно сложной и описывается статистическими методами, в частности, распределением Релея:

$$\omega(E_m) = \frac{E_m}{\tau^2} \exp\left(-\frac{E_m^2}{2\tau^2}\right),$$

где  $E_m$  – амплитуда напряженности поля в точке приема.

Глубина замираний сигнала в точке приема соответствует определенной вероятности, характеризуемой временем ненадежности связи на интервале ( $T$ , %), т. е. определенному проценту времени наихудших суток года, в которых наблюдаются наиболее интенсивные замирания.

Учет замираний сигнала при проектировании и энергетическом расчете РРЛ осуществляется путем увеличения энергетического потенциала ин-

тервала на величину глубины замираний в зависимости от требуемой надежности связи.

Интерференция прямого и отраженного лучей в точке приема приводит к «быстрым» замираниям с квазипериодом, равным единицам, десяткам секунд. Рефракция прямого луча является причиной «медленных» замираний сигнала с квазипериодом, равным единицам, десяткам минут. Изменение уровня сигнала в точке приема и его взаимосвязь с качеством связи показаны на рис. 1.

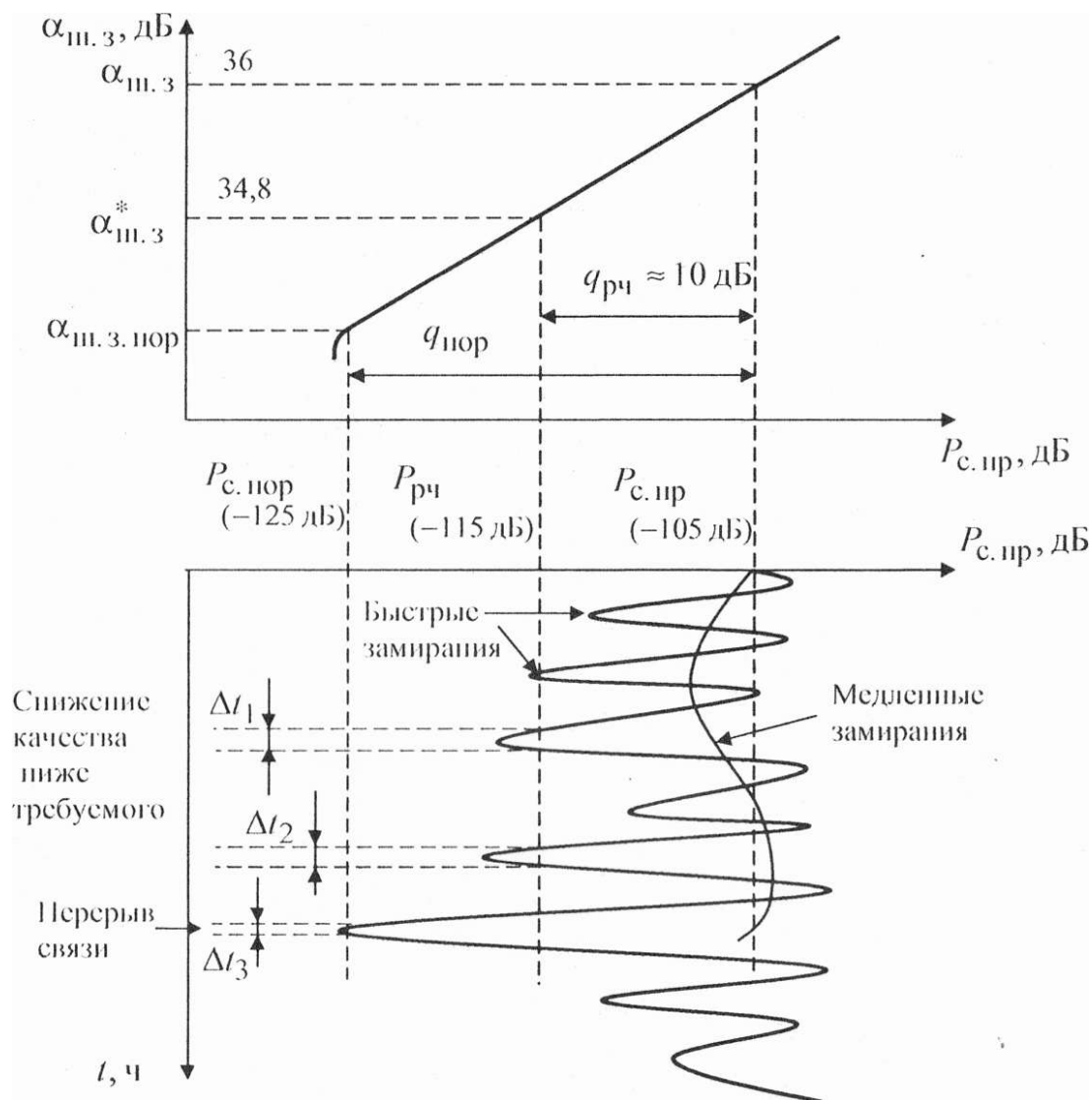


Рис. 1. Зависимость качества связи от глубины замираний

В качестве примера на оси уровня принимаемого сигнала указаны типовые численные величины пороговой и реальной чувствительностей приемника РРК специального назначения. Снижение уровня сигнала в точке приема в момент глубоких замираний ниже значения пороговой чувствительности приемника приводит к перерыву связи. Снижением уровня сиг-



нала ниже значения реальной не обеспечивается заданное качество связи  $\alpha^*_{ш.з}$  (требуемая шумовая защищенность каналов ТЧ).

Текущее медианное значение уровня сигнала в точке приема ( $P_{с.пр}$ ) должно превышать значение  $P_{рч}$  на величину запаса СВЧ-уровня ( $q$ ) так, чтобы суммарное время ненадежности связи:

$$T = \sum_n^i \Delta t_i$$

не превышало установленной (требуемой) величины  $T^*$ , %.

Из рис. 1 видно, что глубина быстрых замираний сигнала может достигать величины 20 дБ и более.

Иногда используют понятие только среднего (медианного) ослабления радиосигнала на интервале РРЛ, не учитывая запаса на замирания сигнала, в этом случае:

$$W_{\Sigma\text{мед}} = W_{\text{св}} + W_{\text{р}} + W_{\text{з}}.$$

Рассмотренные особенности распространения сигналов на интервалах РРЛ предопределили структурное построение РРК специального назначения по следующим направлениям.

1. Наличие высокоподнятых над землей антенно-мачтовых устройств (АМУ) и протяженных антенно-фидерных трактов (АФТ). Высота АМУ мобильных РРК специального назначения находится в пределах 20–30 м, а протяженность АФТ составляет 40–50 м.

2. Достаточность для обеспечения требуемого качества связи относительно маломощных передающих устройств. Мощность передающих устройств основных типов РРК специального назначения составляет 10–20 Вт, что достаточно для обеспечения связи с требуемым качеством на расстояниях до 100 км и более.

3. Необходимость наличия в приемных устройствах систем автоматической регулировки уровня (АРУ) для компенсации изменения уровня сигнала на входе приемника в моменты глубоких замираний.

4. Наличие проектируемого запаса энергетического потенциала РРК (до 20 дБ) для компенсации потерь за счет рельефа местности и наличия замираний.

#### Список используемых источников

1. Лубянников А. А., Дробяскин А. Н., Хухлаев С. В., Гордийчук Р. В., Мальцева О. Л., Александров В. А. Теоретические основы радиорелейной связи специального назначения : учеб. пособие. Ч. 1., СПбГУТ. СПб., 2013. 104 с.

УДК 004.032.26.519.7

## ОСНОВЫ ПОСТРОЕНИЯ МНОГОСТУПЕНЧАТОЙ ПОЛИНОМИАЛЬНОЙ СИСТЕМА КЛАССОВ ВЫЧЕТОВ В РАСШИРЕННЫХ ПОЛЯХ ГАЛУА

**В. М. Величко, А. К. Сагдеев, Н. И. Севостьянова**

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

*Рассмотрены основные способы расширения динамического диапазона в полиномиальных системах классов вычетов. Разработаны математические модели, реализующие выполнение данной операции для полей Галуа. Рассмотрены вопросы перевода из одной полиномиальной системы классов вычетов в другую. Показано, что полиномиальная система классов вычетов обладает способностью осуществлять процедуры перевода за одну интеграцию.*

*поле Галуа, полиномиальная система классов вычетов, интеграция.*

Повышенные требования к точности вычислений при реализации ЦОС определяют необходимость увеличения разрядности входных и выходных данных. Это в свою очередь обуславливает использование расширенных полей Галуа с более высокими порядками. Однако дальнейшее увеличение размерностей модулей системы классов вычетов приводит к значительным аппаратным затратам, и сводит к минимуму все достоинства табличной реализации модульных операций [1, 2, 3].

Был предложен метод, позволяющий снизить избыточность аппаратных затрат при реализации ортогональных преобразований сигналов в полях Галуа  $GF(p^v)$ . В его основу положена возможность замены полинома более высокой степени произведением взаимно простых полиномов более низкой степени. Данное свойство непозиционных кодов служит основой для построения многоступенчатых систем классов вычетов.

Так же был представлен алгоритм модульных вычислений в многоступенчатой системе остаточных классов, основанный на принципе представления оснований более высокой степени в виде произведения модулей более низкой степени. В этом случае число  $R$  может быть представлено в системе взаимно простых чисел  $p_1, p_2, \dots, p_n$ , при этом должно выполняться условие  $p_1 p_2 \dots p_n > R$ . Данная система является главной системой оснований, которая обеспечивает возможность выполнения операций в заданном диапазоне  $[0, R)$ . Максимальное число, которое может быть получено в этой системе при умножении отдельных цифр, есть  $(p_n - 1)^2$ . Далее все цифры главной системы по каждому из оснований представим в новой

системе с основаниями  $p_1^*, p_2^*, \dots, p_k^*$ . В этом случае необходимо, чтобы выполнялось неравенство:

$$P^* = p_1^* p_2^* \dots p_k^* > (p_n - 1)^2. \quad (1)$$

В этой системе максимальным числом, которое может быть получено при умножении является число  $(p_k - 1)^2$ . Эти последние цифры в системе оснований  $p_1^*, p_2^*, \dots, p_k^*$  можно записать в системе с основаниями  $p_1^{**}, p_2^{**}, \dots, p_m^*$  при условии:

$$P^{**} = p_1^{**} p_2^{**} \dots p_m^{**} > (p_k^* - 1)^2. \quad (2)$$

Такой процесс перехода к меньшим основаниям позволяет перейти от представления числа  $R$  сотнями бит к числам, представленным 3–5 битами, которые легко можно обрабатывать на ПЛИС со стандартами математическим обеспечением.

При использовании многоступенчатой СОК обработка данных будет весить только в высшей ступени, а результат вычисления должен преобразовываться в форму, наиболее предпочтительную для выхода. Результаты вычислений всегда будут правильными, если не было выхода из диапазона представления чисел, как в старшей, так и в нижней ступенях.

Рассмотренный алгоритм модульных вычислений в многоступенчатой СОК, основанный на принципе представления оснований более высокой ступени в виде произведения модулей более низкой ступени не позволяет в полной мере реализовывать все достоинства непозиционной арифметики. Выполнение условий (1) и (2) обуславливает необходимость введения дополнительной избыточности.

Данного недостатка лишена многоступенчатая полиномиальная система классов вычетов (ПСКВ), функционирующая в поле  $GF(p)$ . Пусть задан полином  $A(z)$  являющийся элементом кольца  $M(z)$ , определяемого полем  $GF(z)$ . Представим полиномиальное кольцо  $M(z)$  в виде произведения расширенных полей Галуа.

$$M(z) = \prod_{j=1}^l GF(p^j), \quad (3)$$

для которых выполняется условие – НОД  $(k, m) = 1$ .

Исходя из условия, что каждое поле  $GF(p^j)$  определяется круговым многочленом  $F_{p^j-1}(z)$ , то выражение (3) можно представить в виде:

$$M(z) = \prod_{j=1}^l F_{p^j-1}(z). \quad (4)$$

Взаимно простые полиномы  $F_{p^j-1}(z)$  образуют главную систему оснований ПСКВ и обеспечивают однозначность представления многочлена  $A(z)$  в виде совокупности остатков:

$$A(z) = (a_1(z), a_2(z), \dots, a_l(z)), \quad (5)$$

где  $a_1(z) \equiv A(z) \bmod (F_{p^{j-1}}(z))$  и возможность выполнения операций в заданном диапазоне  $[0, M(z)]$ .

Из рассмотренного выше материала известно, что круговой многочлен  $F_{p^v-1}(z)$  представляется в виде произведения минимальных многочленов  $p_j(z)$ , где  $j = 1, 2, \dots$ , определенных над полем. Следовательно, любой из остатков определяемых выражением (5), можно представить в новой системе оснований,  $p_i(z)$ , составляющих вторую ступень ПСКВ. Такой процесс перехода к меньшим основаниям позволяет перейти от представления полинома  $A(z)$  десятками бит к двоичному коду, представленным полиномами с показателями степеней 3–5 двоичных разрядов, которые легко можно обрабатывать на ПЛИС со стандартным математическим обеспечением.

Распределенный характер преобразования сигналов по ступеням и независимость вычислительных каналов полиномиальной системы классов вычетов обеспечивают более эффективное использование аппаратных ресурсов по сравнению с одноступенчатой ПСКВ.

Хорошие реализационные свойства многоступенчатой полиномиальной системы классов вычетов в полях Галуа позволяют строить для вычисления остатка и быстрее процедуры декодирования, согласно выражения:

$$a_j^k(z) = \left| \sum_{i=1}^n A^i(z) \right|_{p_j(x)}^+ \left| \right|_{p_k(z)}^+ \quad (6)$$

где  $j = 1, 2, \dots, l$ ;  $l$  – количество оснований первой ступени;  $k = 1, 2, \dots, s$ ;  $s$  – количество оснований второй ступени ПСКВ;  $k$  – разрядность входного полинома  $A(z)$ ;  $i$  – разряд полинома  $A(z)$ .

Обладая внутренним параллелизмом, алгоритм преобразования из ПСС в многоступенчатую ПСКВ на основе выражения (6) представляет собой идеальную основу для построения высокоскоростных устройств ЦОС с повышенной разрядностью обрабатываемых данных.

#### Список используемых источников

1. Калмыков И. А. Математические модели нейросетевых отказоустойчивых вычислительных средств, функционирующих в полиномиальной системе классов вычетов / Под ред. Н. И. Червякова. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. 276 с.
2. Калмыков И. А., Сагдеев А. К., Тимошенко Л. И., Лободин М. В. Реализация ортогональных преобразований сигналов в расширенных полях Галуа // Современные наукоемкие технологии. 2006. № 4. С. 54–57.
3. Калмыков И. А., Сагдеев А. К., Чипига А. А., Хайватов А. Б. Применение расширенных полей Галуа  $GF(2^v)$  для повышения информационной скрытности передачи данных // Успехи современного естествознания. 2007. № 5. С. 78.

УДК 621.391.1

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ СПЕЦИАЛЬНЫХ СИСТЕМ СВЯЗИ

В. Э. Гель<sup>1</sup>, А. Ф. Карнаух<sup>1</sup>, В. Е. Черенков<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Военная академия связи имени маршала Советского Союза С.М. Буденного

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

*Специальные сети связи должны быть адаптивны к условиям оперативной обстановки. При этом, целью функционирования сетей связи является обеспечение эффективного управления в любых условиях. Как известно, адаптация характеризуется таким показателем, как устойчивость, включающим в себя понятия живучести, помехоустойчивости, технической надежности средств и комплексов связи. В статье рассматриваются особенности проведения расчетов коэффициента устойчивости системы управления с учетом количества действующих работоспособных направлений связи.*

*живучесть, помехоустойчивость, техническая надежность, время исправного действия, направление связи, система управления войсками, своевременность передачи.*

Рассматривая полевою специальную систему связи (СпСС), следует отметить, что она должна быть способна функционировать в сложных оперативных условиях, основными из которых следует считать:

активное воздействие на СпСС со стороны противника (огневое, радиоэлектронное, информационное, диверсионное и др.), направленное на срыв процесса управления войсками (силами, оружием);

перемещение пунктов управления объединения, подчиненных и взаимодействующих объединений (соединений), вышестоящего штаба;

постоянное изменение местоположений района проведения боевых действий в различных видах операций;

частые изменения обстановки по связи, определяемые развертыванием (свертыванием) элементов СпСС, открытием (закрытием) направлений связи и др.

Понятно, что СпСС должна быть адаптивна к условиям оперативной обстановки (обстановки по связи). При этом, целью функционирования СпСС является обеспечение эффективного управления войсками (силами, оружием) в любых условиях обстановки. Как известно, адаптация СпСС характеризуется таким показателем, как устойчивость, включающим в себя понятия живучести, помехоустойчивости, технической надежности средств и комплексов связи [1].

Физическими величинами показателя устойчивости СпСС являются коэффициент исправного действия ( $K_{ni}$ ) и среднее время исправного действия (или простоя) направлений связи.

$$K_{ni} = (\sum_{j=1}^r t_{ij}) / T_i,$$

$$\bar{T}_{ni} = (\sum_{j=1}^r t_{ij}) / r,$$

где  $\bar{T}_{ni}$  – среднее время исправного действия  $i$ -го направления связи;  $T_i$  – общее время функционирования  $i$ -го направления связи;  $t_{ij}$  –  $j$ -й отрезок времени исправного действия  $i$ -го направления связи;  $r$  – число отрезков времени исправного действия  $i$ -го направления связи.

Эти физические величины не в полной мере характеризуют СпСС как систему, поскольку они являются характеристиками устойчивости отдельных направлений связи (НС) – составной части СпСС и не позволяют иметь полную картину по показателю устойчивости всей системы связи. Таким образом, требуется найти дополнительную (обобщенную (обобщающую)) физическую величину, позволяющую оценивать устойчивость всей системы связи в целом.

Известно, что устойчивость и непрерывность управления войсками существенно зависит от устойчивости связи на всех НС [2].

Направления связи, являясь составной частью информационных направлений (ИН), обеспечивают передачу оперативной информации управляемым объектам. В ряде работ научно-исследовательского характера в качестве количественной меры устойчивости системы управления войсками (СУВ) предлагается использовать коэффициент устойчивости СУВ ( $K_{yn}$ ) определяемый выражением:

$$K_{yn} = O_y / O_o,$$

где  $O_y$  – число объектов, с которыми не потеряно управление;  $O_o$  – общее число управляемых объектов, входящих в группировку войск в проводимой операции.

С точки зрения информационных систем, считается, что объект является управляемым, если ИН (НС) исправно и пропускная способность его достаточна (обеспечивается своевременная передача сообщений). То есть, устойчивость управления войсками (и его качество) существенно зависит от своевременной передачи в ИН заданного потока сообщений ( $A$ ), который определяется числом действующих НС:

$$A = \sum_{k=1}^n \times A_k,$$

где  $n$  – число НС;  $A_k$  – суточный объем передаваемых сообщений в НС (групп/сут.);  $k$  – номер НС.

В таблице представлен вариант зависимости устойчивости управления от своевременной передачи заданного объема ( $A$ ) сообщений (в %).

ТАБЛИЦА. Вариант зависимости устойчивости управления от своевременной передачи заданного объема сообщений

Уровень (состояние) управления объектами	Объем своевременной передачи сообщений в системе связи, А (%)
Устойчиво (в полном объеме)	80 – 100
Затруднено	60 – 80
На грани срыва	20 – 60
Сорвано	менее 20

Следовательно, количество работоспособных (действующих) НС в период проведения операции определяют устойчивость СУВ, т. е. от отношения множества действующих НС ( $M_d$ ) к множеству запланированных ( $M_3$ ) зависит устойчивость управления войсками [2, 3]. При этом, множество действующих НС ( $M_d$ ) может быть меньше или равно множеству запланированных НС ( $M_3$ ):

$$M_d \leq M_3.$$

На практике дежурный по связи объединения постоянно осуществляет контроль за работоспособностью (исправностью) запланированных НС (множество  $M_3$ ) и принимает меры к восстановлению связей при их нарушении, чтобы сохранить равенство  $M_d = M_3$ .

Если рассмотреть элементы множеств по их количеству в относительных единицах как отношение:

$$K_y = N_d / N_3 \leq 1,$$

где  $N_d$  – количество действующих направлений связи (количество элементов множества  $M_d$ );  $N_3$  – количество запланированных НС (количество элементов множества  $M_3$ ),

то данное выражение с учетом зависимости устойчивости системы управления войсками (силами, оружием) от числа действующих НС правомерно назвать коэффициентом устойчивости системы связи ( $K_y$ ) [2, 3].

Понятно, что для обеспечения устойчивого управления войсками коэффициент устойчивости системы связи должен быть близок к единице ( $K_y \rightarrow 1$ ). В этом понимании коэффициент устойчивости предлагается считать обобщенной физической величиной показателя устойчивости системы связи. Данное предположение отвечает законам декомпозиции требований системы высшего уровня (системы управления войскам) в требования системы низшего уровня (системы связи) [4].

Ввиду того, что НС по важности в оперативном плане различны, для оценки СпСС могут использоваться соотношения [5]:

$$M_{d1гр} M_{з1гр},$$

$$M_{d2гр} M_{з2гр},$$

$$M_{д3гр} \quad M_{з3гр},$$

где  $M_{дiгр}$  – множество действующих НС  $i$ -ой группы важности;  $M_{зiгр}$  – множество запланированных НС  $i$ -ой группы важности.

Аналогично могут быть использованы уточняющие коэффициенты устойчивости СВС по группе важности НС:

$$K_{y1гр} = N_{д1гр} / N_{з1гр};$$

$$K_{y2гр} = N_{д2гр} / N_{з2гр};$$

$$K_{y3гр} = N_{д3гр} / N_{з3гр};$$

где  $N_{дiгр}$  – число действующих НС  $i$ -ой группы важности;  $N_{зiгр}$  – число запланированных НС  $i$ -ой группы важности.

Для получения обобщенного коэффициента устойчивости СпСС с учетом важности НС предлагается использовать выражение:

$$K_y = \sum_{i=1}^3 \alpha_i K_{yigr};$$

где  $\alpha_i$  – весовой коэффициент НС  $i$ -ой группы важности.

Данный весовой коэффициент НС  $i$ -ой группы важности может быть определен различными методами: либо экспериментальным путем, либо методом экспертных оценок, либо использованием способа Фишборна с обязательной корректировкой полученных значений на основе качественной оценки экспертами значимости каждого показателя.

В случае равного предпочтения составляющих (элементов) в ряде приоритета расчет коэффициента  $\alpha_i$  будет осуществляться по формуле:

$$\alpha_i = \frac{1}{n}; \quad (i = 1, 2, \dots, n),$$

где  $n$  – число приоритетов.

При слабом предпочтении, устанавливаемом лишь факт, что составляющая  $\alpha_i$  предпочтительнее  $\alpha_{i+1}$ ,  $\alpha_i$  будет рассчитываться следующим образом:

$$\alpha_i = 2(n - i + 1) / n(n+1).$$

В условиях сильного предпочтения слагаемых в ряду приоритетов расчет  $\alpha_i$  будет выполняться по формуле:

$$\alpha_i = 2^{n-1} / (2^n - 1).$$

При этом, во всех трех случаях должно выполняться нормирующее условие

$$\sum_{i=1}^3 \alpha_i = 1.$$

Таким образом, на наш взгляд, введение в показатель устойчивости СпСС дополнительной (обобщенной) физической величины – коэффициента устойчивости СпСС – повысит полноту ее характеристики и объективность оценки с учетом всех воздействующих факторов и групп важности направлений связи (информационных направлений).



#### Список используемых источников

1. Богачев К. Г. и др. Основы телекоммуникаций: учеб. пособие для вузов связи. СПб.: ВАС, 2015. 222 с.
2. Пирогов Ю. А. Методология исследования систем и сетей военной связи: учеб. пособие. СПб.: ВАС, 2016. 153 с.
3. Галимов Р. С. Обеспечение устойчивого управления войсками при ведении маневренной обороны // Военная мысль. 2014. № 6. С. 26–33.
4. Хомутов А. В. Опыт и перспективы использования концепции единой информационно-коммуникационной сети в управлении войсками // Военная мысль. 2015. № 11. С. 23–33.
5. Боговик А. В., Игнатов В. В. Теория управления в системах военного назначения: учебник, ВАС. СПб., 2008. 460 с.

УДК 654.01

## АНАЛИТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МОНИТОРИНГА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ СРЕДСТВ СВЯЗИ С ПРОДЛЕННЫМИ СРОКАМИ ЭКСПЛУАТАЦИИ УС ОБЪЕКТОВ

**В. А. Гирш, А. А. Марченков, А. Н. Музыкантов**

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

*Задача мониторинга технического состояния средств связи заключается в постоянном или периодическом сборе статистических данных об отказах и неисправностях, проведенных ремонтах, а также сведений о расходовании ЗИП и потребностях в электрорадиоприборах для текущих ремонтов и восполнения ЗИП-О. Методы мониторинга технического состояния средств связи.*

*электрорадиоприборы, мониторинг, средства связи, отказы, неисправности, ремонт.*

Задача мониторинга технического состояния средств связи заключается в постоянном или периодическом сборе статистических данных об отказах и неисправностях, проведенных ремонтах, а также сведений о расходовании ЗИП и потребностях в электрорадиоприборах для текущих ремонтов и восполнения ЗИП-О.

На основе полученных данных может осуществляться прогнозирование отказов специальных средств связи с продленными сроками эксплуатации и должна проводиться технико-экономическая оценка мероприятий по поддержанию средств связи в работоспособном состоянии на прогнози-

руемой период эксплуатации. При этом неотъемлемой составляющей является оценка основных характеристик надежности не только отдельных образцов техники и сооружений связи с продленными сроками эксплуатации, но и оценка надежности всего тракта передачи/приема информации, в котором задействован конкретный образец.

Принципиально возможны два метода мониторинга: инструментальный и статистический.

Рассмотрим *инструментальный метод мониторинг*, который применяется для текущей оценки параметров специальных средств связи, что позволяет контролировать постепенные изменения технического состояния средств связи. Поэтому инструментальный метод следует применять для прогнозирования постепенных отказов, когда известны номинальные значения контролируемых параметров специальных средств связи. При этом под постепенным отказом здесь следует понимать прекращение функционирования средства связи или выход значения контролируемого параметра за пределы нормы, установленной в ТУ на средство связи, на интервале времени  $[t_0, t_{\text{зад}}]$ .

Вследствие этого, инструментальный метод мониторинга позволяет в процессе эксплуатации выявлять намечающиеся отказы и неисправности и производить своевременные регулировки и замены блоков, ТЭЗов с ухудшающимися параметрами. В этом случае инструментальный метод мониторинга позволяет уменьшить количество отказов специальных средств связи с продленными сроками эксплуатации и, следовательно, повысить вероятность безотказной работы в течение заданного промежутка времени.

Целью инструментального мониторинга является накопление статистических данных о постепенных и внезапных отказах и на их основе текущее прогнозирование характеристик надежности средств связи на интервале времени  $[t_0, t_{\text{зад}}]$ . Конечным результатом инструментального мониторинга должно быть принятие решения о правильном (эффективном) использовании специальных средств связи с продленными сроками эксплуатации, выявление и устранение причин возникновения постепенных отказов.

В процессе инструментального мониторинга накопление статистических данных о постепенных отказах должно быть направлено на сбор сведений о ненадежных элементах, блоках, ЭРИ, времени восстановления и количестве отказов специальных средств связи, а также о расходовании ЗИП при их устранении. Статистическое накопление данных о ненадежных элементах, блоках, ЭРИ способствует формированию перечня наиболее критичной элементной базы, что для специальных средств связи с ПСЭ имеет первостепенное значение при восполнении ЗИП и принятии решения о дальнейшей эксплуатации.

На рис. 1 представлена модель мониторинга технического состояния специальных средств связи с ПСЭ узлов связи.



Рис. 1. Модель мониторинга технического состояния специальных средств связи

Зная время восстановления отказов специальных средств связи имеется возможность в любой момент времени  $t_i$  на интервале инструментального мониторинга  $[t_0, t_{зад}]$  проводить оценки точечных характеристик эксплуатационной надежности каждого  $i$ -го специального средства связи – интенсивности отказов  $\lambda$ , вероятности безотказной работы  $P_{без}(t)$  и коэффициента готовности  $K_r$ .

Более того, по результатам инструментального мониторинга могут быть получены функциональные зависимости изменения контролируемых параметров в момент времени  $t_i$  в течение заданного промежутка времени  $[t_0, t_{зад}]$ . Методом экстраполяции данные зависимости могут быть распространены на последующий период эксплуатации  $[t, t + \Delta t]$ . Известно, что экстраполяционная оценка контролируемых параметров на последующий период эксплуатации  $[t, t + \Delta t]$  будет иметь минимальную среднеквадратическую ошибку при условии наличия полной информации инструментального мониторинга для каждого момента в течение текущего (заданного) промежутка времени  $[t_0, t_{зад}]$ .

В зависимости от наличия контрольных приборов и разъемов в различных образцах средств связи метод инструментального мониторинга может быть реализован следующими способами:

- использование переносной контрольно-измерительной аппаратуры (КИА), в т. ч. входящей в состав ЗИП;
- использование встроенных контрольных приборов;
- применение сигнализаторов (датчиков), работающих по бинарному принципу «исправен-неисправен» («готов-не готов»);
- проверки по внешним признакам;
- пробная замена элементов (ТЭЗов), контроль параметров которых не предусмотрен.

Очевидно, что достоверность инструментального мониторинга будет выше, если комплексно использовать перечисленные выше способы измерения контролируемых параметров. Следует отметить, что достоверность инструментального мониторинга достигается применением штатной или предусмотренной в ТУ (формулярах) на средства связи КИА соответствующего класса точности. Процесс контроля и измерения параметров носит вероятностный характер. Это обусловлено тем, что возможны несколько состояний контролируемых средств связи и КИА (приборов), характеризующихся следующими вероятностями:

$P_1$  – вероятность исправного состояния контролируемого средства связи перед началом контроля (измерений);

$P_2$  – вероятность исправного состояния КИА перед началом контроля (измерений);

$P_3$  – вероятность появления отказа (неисправности) средства связи в процессе контроля (измерений);

$P_4$  – вероятность того, что исправное средство связи откажет после контроля (измерений) перед началом его использования;

$P_5$  – вероятность исправного состояния КИА в процессе контроля (измерений);

$P_6$  – вероятность принятия исправного средства связи за неисправное;

$P_7$  – вероятность принятия неисправного средства связи за исправное;

$P_8$  – вероятность выполнения ремонта неисправной КИА (прибора).

Исходя из возможных состояний и предполагая, что вероятности этих состояний независимы, можно построить ориентированный граф состояний (рис. 2).

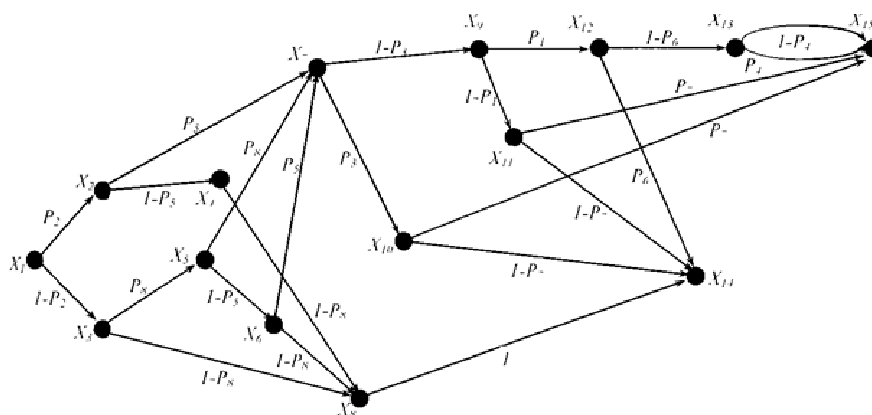


Рис. 2. Ориентированный граф состояний

На рис. 2 вершина  $X_1$  является исходной, а вершины  $\{X_7, X_8, X_{14}, X_{15}\}$  отображают принятие окончательного решения об исправном состоянии средства связи:

$X_7$  – средство связи исправно (контролируемые параметры находятся в пределах нормы);

$X_8$  – средство связи неисправно (контролируемые параметры находятся за пределами нормы);

$X_{14}$  – средство связи допущено к использованию;

$X_{15}$  – средство связи не допущено к использованию.

Согласно графу, полная вероятность исправного состояния КИА (прибора)  $P_{КИА}$  будет определяться:

$$P_{КИА} = P_2P_5 + P_2(1 - P_5)P_8 + (1 - P_2)P_2P_5 + (1 - P_2)P_8(1 - P_5)P_8 \quad (1)$$

или после преобразования:

$$P_{КИА} = [P_2 + (1 - P_5)P_8][P_5 + (1 - P_5)P_8].$$

Аналогично, полная вероятность того, что средство связи будет исправным и допущено к использованию:

$$P_{ид} = [P_2 + (1 - P_2)][P_5 + (1 - P_5)P_8] \times \\ \times [(1 - P_3)(P_1(1 - P_6) + (1 - P_1)P_7) + P_3P_7], \quad (2)$$

а полная вероятность того, что средство связи будет исправным и не допущено к использованию:

$$P_{инд} = [P_2 + (1 - P_2)][P_5 + (1 - P_5)P_8] \times \\ \times [(1 - P_3)(P_1(1 - P_6) + (1 - P_1)P_7) + P_3P_7]. \quad (3)$$

Анализ выражений (1)–(3) указывает на очевидность того, что использование средств связи с ПСЭ должно обеспечиваться применением исправной (надежной) и поверенной КИА. Однако в условиях продления сроков эксплуатации специализированных средств связи продлению сроков эксплуатации КИА не уделяется должного внимания. В связи с этим срок службы, используемой КИА (приборов) не всегда соответствует установленному техническому ресурсу средств связи. Поэтому КИА, необходимая для измерения контролируемых параметров средств связи с продленными сроками эксплуатации, не всегда сохраняет свой ресурс, а зачастую не подлежит поверке и ремонту. В этом случае целесообразно использовать современные контрольно-измерительные приборы аналогичного функционального назначения и соответствующего класса точности. Данное положение относится как к переносной контрольно-измерительной аппаратуре, так и к встроенным контрольным приборам.

#### Список используемых источников

1. Колегаев Е. Н. Определение оптимальной долговечности технических систем. М.: Сов. радио, 1967.
2. Луцкий В. А. Расчет надежности и эффективности радиоэлектронной аппаратуры. Киев: Наукова думка, 1966.

УДК 621.391

## ТЕНЗОРНАЯ МЕТОДОЛОГИЯ КАК СПОСОБ АНАЛИЗА НАГРУЖЕННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

**М. А. Горбачева, В. М. Кажан, А. А. Лубяников, Ю. А. Фролова**

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

*В данной статье рассматривается обоснование актуальности использования тензорного анализа в информационных сетях связи, тензорная методология анализа нагруженных сетей связи в стационарном состоянии, приведены формулы и уравнения состояния информационной сети соответственно тензорной методологии.*

*тензорный анализ, тензорная методология, информационные сети связи.*

Сетевые характеристики неотъемлемо связаны со структурой сети, влияние этой зависимости существенно увеличивается с ростом нагрузки, то есть когда вероятность сбоя системы повышается. В этом случае аналитические методы и теории СМО при расчете сети не являются актуальными, поскольку не учитывают структуру сети.

Рассмотрим случай, при котором возможно применение аппроксимации изменений состояний устройств хранения, которые заполнены данными, и каналов связи в постоянном режиме передачи кусочно-линейными участками. Для статистического определения изменения маршрутных потоков, воздействия их друг на друга, будем использовать тензорный анализ и тензорную методологию для изучения сети связи, так как при стационарном состоянии системы и её элементов, возможно, использовать формулу Литтла [1]. Она применима в случае одних и тех же процессов передачи данных в канале и устройстве хранения [1, 2, 3].

Переменчивость структуры сети связи можно отобразить в системе координат во время рассмотрения преобразования в тензорной методологии. Обобщенный параметр – полная кибернетическая мощность сети, рассматривается в качестве инварианта преобразований величин формулы поведения [4, 5]. При разрешении вопроса тензорного анализа приращение кибернетической мощности – это инвариант. Вариации компонентов тензора соответствуют модификации системы координат, зависимой от структуры сети.

Тензорный анализ способен составить прогноз состояния сети с помощью проведения исследования движения информационных потоков и сетевой топологии с её интерфейсами и протоколами.

Предположим, что информационная сеть нагружена, проанализируем её. Определим систему координат с помощью топологии сети, то есть ис-

пользуем тензорную методологию. Каналы связи характеризуются пропускными способностями, а узлы коммутации – состояниями устройств хранения.

Представим, что сеть пребывает в практически нагруженном состоянии, она состоит из совокупности каналов связи и узлов коммутации, а каналы характеризуются пропускными способностями, узлы коммутации – состояниями устройств накопления. В этом случае решение задачи по минимизации времени информационного доведения или потерям с ограничением по временной задержке, существенно зависит от топологии сети. Учтем, что потоки в сетях и структурное построение самих сетей зависят друг от друга. Обращаясь к аналитическим методам, можно выделить два подхода для решения данной задачи.

Для анализа непрерывного пространства состояний применим потоковую модель. Пути передачи данных с наименьшей длиной маршрутных потоков определяются методами решения, отличительной чертой маршрутных потоков является вид стоимостной функции. Она выбирается в устройстве хранения в виде модели СМО – системы с одним устройством обслуживания. Сети Джексона с Клейнроковской аппроксимацией независимости [6] являются базой для теории СМО, следовательно, указанный метод не учитывает данные о топологии системы, и не может в полной мере справиться с грамотным распределением данных.

Также для данной задачи можно воспользоваться вторым способом, основанным на теории графов и методов определения кратчайших путей по ним. Для решения могут использоваться алгоритмы Беллмана-Форда, Дейкстры или Флойда-Уоршела [7]. Главный недостаток данного подхода – это то, что не учитываются соотношения процессов в системе. Однако, на сегодняшний день существует новый способ анализа, обобщающий понятия графа и матрицы. При анализе процессов, происходящих в цепи, тензорная методология учитывает совокупность процессов и структур. Этот метод базируется на тензорном анализе, например, в работах Г. Крона [8, 9].

Формула Литтла [6, 7] отражает зависимость основных усредненных параметров для любой  $i$ -й одноканальной системы: времени нахождения информационных пакетов (кадров, фреймов), передающихся по сети неделимых блоков данных в системе  $T_i$ , входного потока  $\Lambda_i$ , объема накопленных информационных пакетов  $V_i$  в устройствах хранения.

$$V_i = T_i \Lambda_i. \quad (1)$$

Если составить матрицу временных задержек  $T$  и, согласно правилу перемножения матриц, выражение (1) можно записать в координатной форме. Это выражение (2) – есть формула поведения информационной сети стационарного состояния. Она инвариантна относительно связности сети.

$$V\alpha = \sum_{\beta=1}^m T_{\alpha\beta} \Lambda^\beta. \quad (2)$$

Уравнение поведения выражения (2) представляет взаимосвязь геометрических объектов (путевых потоков, временных задержек, накоплений информационных пакетов в устройствах накопления) и поэтому соответствует записи в тензорной форме, следовательно, выражение является тензорным.

К причине использования тензорной методологии для решения инженерных вопросов можно отнести инвариантность ряда характеристик геометрического или физического объекта, воспроизведенных тензором.

Мощность сетей при различной связности и с одинаковым числом элементов будет разной. Однако изменение мощности сети при последовательном изменении ее структуры приводит к изменению мощности двойственной сети. Для информационной сети полная (входная) кибернетическая мощность примитивной сети определяется как:

$$P_{\text{ИС}} = \sum_{i=1}^n V_i \gamma^i = V_i \gamma_{\text{ВЫХ}}^i,$$

где  $i = 1, \dots, n$  – номера одноканальных систем с общим их числом  $n$ ;  $V_i$  и  $\gamma_{\text{ВЫХ}}^i$  – состояние  $i$ -й одноканальной системы, определяемое транзитным и внешним вошедшим извне неделимых блоков информации, и ее производительность, соответственно.

Сумма мощностей несвязанных между собой систем определяет полную (входную) мощность сети, которая инвариантна при неизменном количестве сетей с одним обслуживающим устройством. Бесспорно, кибернетическая мощность (полезная составляющая входной мощности) уменьшается из-за соединения одноканальных систем в коммуникационную сеть. При заданной структуре такой сети, ее синтез на основе тензорной методологии должен дать максимальную полезную мощность сети. Структуре сети также необходимо отвечать требованиям надежности, эффективности по эксплуатации. Таким образом, максимальная кибернетическая мощность может быть только в примитивной контурной сети или в примитивной сети разомкнутых цепей. Из вышеприведенных рассуждений видно, что кибернетическая мощность сетей с одним обслуживающим устройством, как комплексная величина, включает состояния устройств хранения и производительность устройства обслуживания, то есть при расчете информационных сетей, возможно, более полно раскрыть возможности сети в целом.

Уравнения связной сетей связи с фиксированным числом абонентов можно получить, согласуя этапы его вывода с тензорной методологией [8, 9, 10].

Для начала необходимо выделить определенную сеть, в которой анализ будет относительно простым. В качестве таковой удобно использовать сеть примитивного типа (разомкнутую, замкнутую, ортогональную [8] или



подразделенную [9]). Уравнения состояния, например, сети примитивной разомкнутого типа:

$$N_{\alpha} = T_{\alpha\beta}\gamma^{\beta}.$$

Далее необходимо найти различия топологии всех возможных информационных сетей от эталонной сети. Данные отличия сетей заключаются в соединении одноканальных систем, устанавливаемых матрицей преобразования  $C_{\alpha'}^{\alpha}$ , компоненты матрицы определяют способ соединения, выбор переменных, которыми каждая частная сеть отличается от примитивной сети. Затем находятся параметры сети новой конфигурации или инвариант сети – полная кибернетическая мощность информационной сети с заданным числом одноканальных систем  ${}^{\alpha}P^{22}$ .

Выражение для накоплений информационных пакетов в одноканальной системе имеет вид:

$$V_{\gamma} = T_{\gamma\alpha}C_{\alpha'}^{\alpha} \cdot \lambda^{\alpha'}.$$

Итак, использование тензорной методологии на основе инварианта позволяет определять параметры компонентов сети, как в целом, так и одноканальных систем в отдельности.

Рассмотрим основные этапы синтеза при тензорной методологии. Предположим, что информационные сети, обеспечивающие доставку пакетов (передающиеся по сети неделимые блоки информации) между отправителем-адресатом, но из-за слабой связности не гарантирует выполнения требований по задержке.

Возникает проблема синтеза новой сети связи, обладающей иной связностью, с большим числом узлов коммутации и пропускными способностями каналов связи, отвечающей ранее введенным требованиям.

В задаче анализа информационной сети связи, используя временную задержку передающихся по сети неделимых блоков информации при обработке в узлах коммутации и каналах в качестве понятия сопротивления сети в терминах времени, находятся необходимые путевые потоки в каналах связи и накопления информационных пакетов в устройстве накопления оставшейся части сети.

В тензорной методологии предполагается наличие инварианта сети, а именно, входной кибернетической мощности и тензора преобразования, с помощью которого возможно перейти от примитивной к обычной коммуникационной сети. Во время преобразования, связность сети изменяется согласно уравнению поведения сети, но при этом количество сетей с одним обслуживающим устройством в ней постоянно. В общем случае, при синтезе фиксированное число систем в информационной сети снимается, то есть условия константы кибернетической мощности нарушаются. С другой стороны, в задаче синтеза предполагается наличие требований к характеру поведения сети, они являются критериями поведения инфор-

мационной сети связи. Инвариант для решения задачи синтеза – это назначенный критерий поведения сети, а в задаче анализа – кибернетическая мощность.

#### Список используемых источников

1. Кочин Н. Е. Векторное исчисление и начала тензорного исчисления. Л.–М.: ГОНТИ НКТП; Редакция техн.-теор. лит., 1938. 450 с.
2. Рашевский П. К. Риманова геометрия и тензорный анализ. М.: Наука, 1964. 664 с.
3. Схоутен Я. А. Тензорный анализ для физиков: пер. с англ. / Под ред. И. В. Кеппена. М.: Наука, 1965. 456 с.
4. Гораздовский Т. Я., Пасечников И. И. Способ оценки информационных возможностей системы связи. Пат. 2225074 Российская Федерация; заявитель и патентообладатель Б.И. – № 19; заявл. 15.01.2002. опубл. 10.07.2003.
5. Пасечников И. И. Анализ и синтез цифровых сетей связи на основе тензорного модельного отображения. Тамбов: ТВАИИ, 2004. 179 с.
6. Клейнрок Л. Вычислительные системы с очередями: пер. с англ. / Под ред. Б. С. Дыбакова. М.: Мир, 1979. 600 с.
7. Бертсекас Д., Галлагер Р. Сети передачи данных: пер. с англ. М.: Мир, 1989. 544 с.
8. Крон Г. Тензорный анализ сетей: пер. с англ. / Под ред. Л. Т. Кузина, П. Г. Кузнецова. М.: Сов. радио, 1978. 719 с.
9. Крон Г. Исследование сложных систем по частям – диакоптика. М.: Наука, 1972. 542 с.
10. Петров А. Е. Тензорная методология в теории систем. М.: Радио и связь, 1985. 151 с.

УДК 621.376

## РАЗРАБОТКА СТРУКТУРНОЙ СХЕМЫ ФОРМИРОВАТЕЛЯ РАДИОСИГНАЛОВ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ НА ЭЛЕМЕНТАРНОЙ БАЗЕ

**Р. В. Гордийчук<sup>1</sup>, Ю. С. Гриценко<sup>2</sup>, А. А. Дунаева<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

*Принцип работы универсального формирователя радиосигналов на элементарно базе. Структурная схема, позволяющая на выходе получить разделённую и видоизменённую синфазную и квадратурную составляющую радиосигнала.*

*нелинейные искажения, цифровая модуляция.*

На основе теоретических знаний об общности формирования спектрально-эффективных радиосигналов объединим принципы формирования в одной структурной схеме. Структурная схема универсального формирователя приведена на рис. 1.

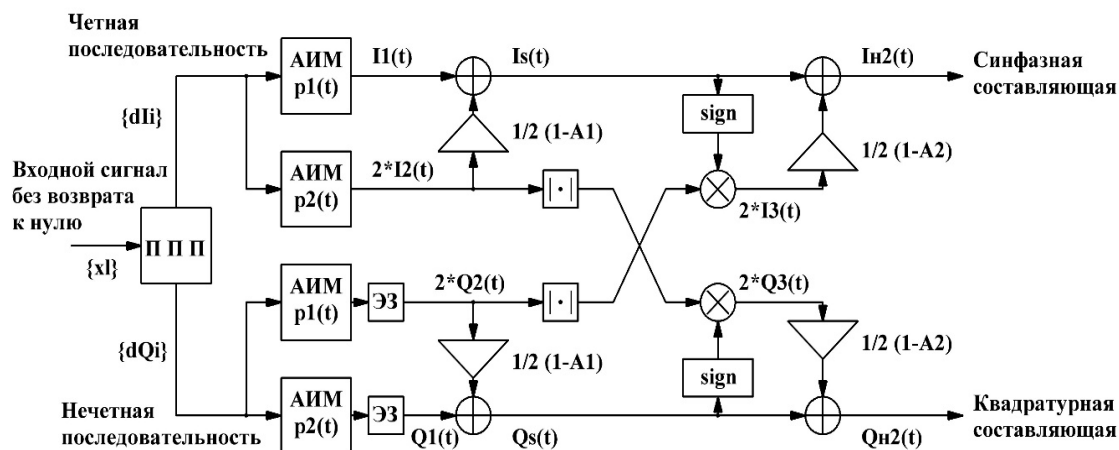


Рис. 1. Структурная схема универсального формирователя

Здесь ППП – последовательно-параллельный преобразователь, АИМ – амплитудно-импульсный модулятор, ЭЗ – элемент задержки, треугольным блоком обозначен усилительный элемент,  $\oplus$  – блок арифметического сложения,  $\otimes$  – блок арифметического умножения,  $|\bullet|$  – операция взятия модуля аргумента,  $\{x_i\}$  – информационная бинарная последовательность.

При коэффициентах  $A_1 = 1$  и  $A_2 = 1$ , искусственно вводимые связи между синфазным и квадратурным каналами отсутствуют. Информационная последовательность  $\{x_i\}$  поступает на последовательно-параллельный преобразователь, который формирует две отдельные последовательности из чётных и нечётных символов  $\{dI_i\}$  и  $\{dQ_i\}$ . Амплитудно-импульсные модуляторы задают форму сигнала поступившей последовательности. Форма модулирующего импульса  $p1(t)$  и  $p2(t)$  приведена на рис. 2.

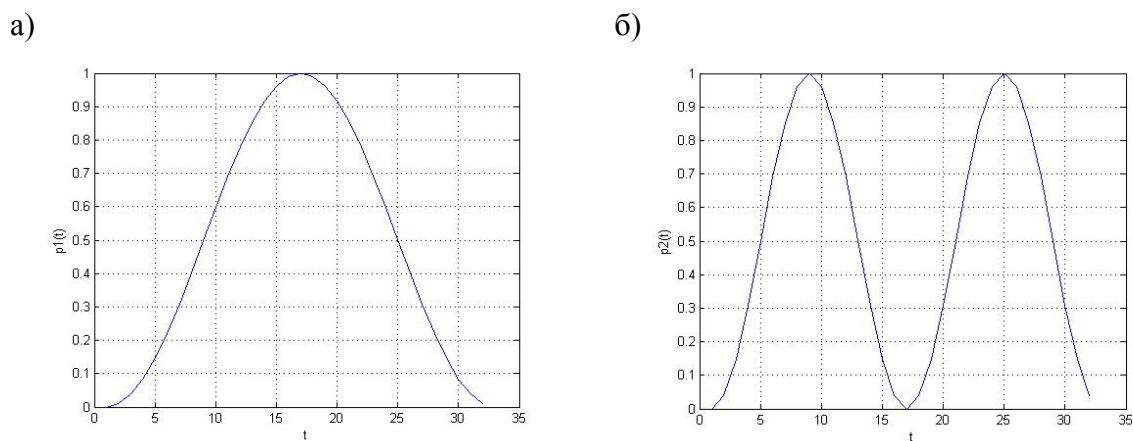


Рис. 2. Форма модулирующего импульса: а)  $p1(t)$ ; б)  $p2(t)$

В квадратурном канале присутствует элемент задержки, обеспечивающий условие формирования T-OQPSK-сигнала, задерживающий сигнал на:

$$T_b = T_s/2.$$

При изменении  $A_1$  и  $A_2$  происходит включение межканальных связей и дополнительное воздействие на сигналы в  $I$  и  $Q$  каналах. Критерием формирования FQPSK-сигнала является использование коэффициентов на усилительных элементах. При задействованных связях сигнал начинает видоизменяться. Треугольным блоком на структурной схеме изображён управляемый усилительный элемент, отвечающий за глубину первой связи. С его выхода сигнал поступает на  $\oplus$  – блок арифметического сложения, который вычитает из исходного сигнала  $I_1(t)$  усиленный  $I_2(t)$ , формируя завалы на амплитудах сигнала. При включении второй связи происходит «заваливание» переднего фронта импульсов сигнала. Блок операции взятия модуля аргумента  $|\bullet|$ , осуществляет выборку и взятие по модулю каждого значения сигнала  $I_2(t)$  и отправляет их на блок арифметического умножения  $\otimes$ . Блок «sign» отвечает за взятие знака, извлекает из сигнала  $Qs(t)$  и отправляет его на блок арифметического умножения. На выходе блока арифметического умножения  $\otimes$  формируется сигнал  $Q3(t)$ , идущий на блок усиления изображённый в виде треугольника. В дальнейшем сигнал после усиления поступает на замыкающий блок арифметического сложения, где происходит вычитание из сигнала  $Qs(t)$  усиленного сигнала  $Q3(t)$  [1].

Аналогичные математические действия происходят в соответствующих параллельных связях схемы одновременно. В следствии чего, на входе формирователя мы имеем цифровой поток данных без возврата к нулю, а на выходе получаем разделённые и видоизменённые синфазную и квадратурную составляющую радиосигнала.

#### Список используемых источников

1. Spartan-3E Starter Kit Board User Guide UG230 (v1.0) March 9, 2006.

УДК 621.376

## СПЕКТРАЛЬНО-ЭФФЕКТИВНЫЕ МЕТОДЫ ЦИФРОВОЙ МОДУЛЯЦИИ

Р. В. Гордийчук<sup>1</sup>, Ю. С. Гриценко<sup>2</sup>, А. А. Дунаева<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

*Для борьбы с побочным излучением и нелинейными искажениями на выходных каскадах передающего тракта, предлагается использовать спектрально-эффективные методы цифровой модуляции со специальной формой сигнала, такие как QPSK, T-QPSK, FQPSK, GMSK.*

*цифровая модуляция, спектрально-эффективные методы, квадратурная фазовая манипуляция.*

В системах связи с космическими аппаратами важную роль играет использование спектрально-эффективных видов цифровой модуляции. При работе от автономных источников питания появляется необходимость в наилучшем КПД передающих систем. В связи с этим, решено использовать полупроводниковые приборы в нелинейном режиме усиления, что приводит к паразитной амплитудно-фазовой модуляции, существенно расширяющей полосу частот. Именно для борьбы с побочным излучением и нелинейными искажениями на выходных каскадах передающего тракта, предлагается использовать спектрально-эффективные методы цифровой модуляции со специальной формой сигнала.

При анализе современных систем связи с космическими аппаратами, выявлен ряд спектрально-эффективных видов модуляции на основе QPSK.

QPSK (*Quadrature Phase Shift Keying*) – квадратурная фазовая манипуляция. При квадратурной фазовой используется созвездие из четырёх точек, размещённых на равных расстояниях на окружности. Используя 4 фазы, в QPSK на символ приходится два бита. Анализ показывает, что скорость может быть увеличена в два раза относительно BPSK при той же полосе сигнала, либо оставить скорость прежней, но уменьшить полосу вдвое.

Хотя QPSK можно считать квадратурной манипуляцией (QAM-4), иногда её проще рассматривать в виде двух независимых модулированных несущих, сдвинутых на 90°. При таком подходе чётные (нечётные) биты используются для модуляции синфазной составляющей  $I$ , а нечётные (чётные) – квадратурной составляющей несущей  $Q$ . Так как BPSK ис-

пользуется для обеих составляющих несущей, то они могут быть демодулированы независимо.

T-OQPSK (*Trellis Offset Quadrature Phase Shift Keying*) – квадратурная фазовая манипуляция со смещением квадратурного канала и решетчатым кодированием. В модуляции T-OQPSK используется то же самое сигнальное кодирование, что и в QPSK. Отличие заключается в том, что перемещение от одного модуляционного состояния к другому (от одной точки в созвездии до другой) выполняется за два шага. Вначале, в тактовый момент в начале символа изменяется компонента  $I$  и после половины символа – компонента  $Q$  (или наоборот). Для этого квадратурные компоненты информационной последовательности  $I(t)$  и  $Q(t)$  смещаются во времени на длительность одного информационного элемента:

$$T_b = T_s/2.$$

Сам вид модуляции T-OQPSK не является спектрально эффективным, но на его основе получают другие виды нелинейной модуляции, за счёт внесения связей между квадратурной и синфазной составляющей комплексной огибающей радиосигнала. В зависимости от поставленной задачи выбирается вид необходимой манипуляции. В случае необходимости наибольшего подавления первых боковых лепестков спектральной плотности мощности предлагается использование GMSK-сигналов, при необходимости увеличения скорости спада внеполосного излучения предлагается использование FQPSK-сигналов.

При таком смещении компонентных сигналов каждое изменение фазы формируемого сигнала, по очереди производимое квадратурными сигналами, определяется лишь одним элементом исходной информационной последовательности, а не одновременно двумя (дибитом), как при QPSK. В результате переходы фазы на  $180^\circ$  отсутствуют, так как каждый элемент исходной информационной последовательности, поступающий на вход модулятора синфазного или квадратурного канала, может вызвать изменение фазы лишь на  $0$ ,  $+90^\circ$  или  $-90^\circ$ .

Резкие фазовые перемещения сигнальной точки при формировании сигнала T-OQPSK происходят вдвое чаще по сравнению с QPSK, так как компонентные сигналы не изменяются одновременно, но они не резкие. Другими словами, величина фазовых переходов является в T-OQPSK меньшей по сравнению с QPSK, но частота их вдвое больше.

FQPSK (*Feher Quadrature Phase Shift Keying*) – усовершенствованный метод модуляции Феера, с улучшенными характеристиками и повышенной пропускной способностью. Они используются в системах с расширением спектра путём программной перестройки рабочей частоты. Спектр плотности мощности сигнала FQPSK приведён на рис. 1.

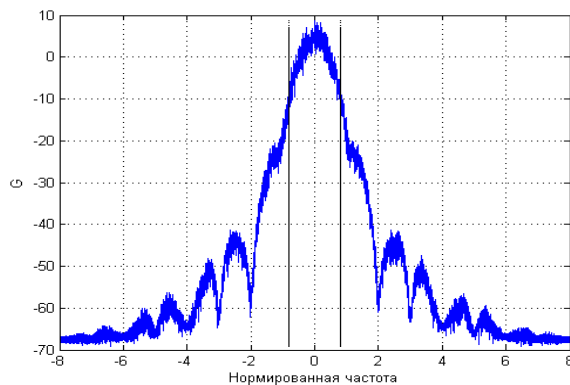


Рис. 1. Спектр плотности мощности FQPSK-сигнала

Отметим высокую скорость спада огибающей спектра и узкую занимаемую полосу частот. График приведён в логарифмическом масштабе к нормированной частоте. Структурная схема модулятора FQPSK представлена на рис. 2.

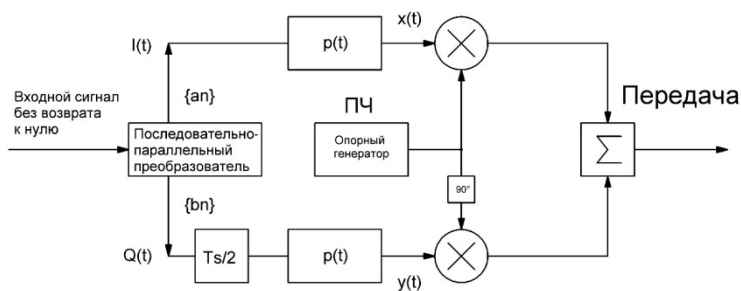


Рис. 2. Структурная схема модулятора FQPSK

Схема представляет собой обычную схему модулятора O-QPSK с элементом задержки в канале  $Q$ :

$$T_b = T_s/2.$$

Сигнал FQPSK на выходе малоомощного жесткого ограничителя имеет постоянную огибающую. Этот ограничитель может быть сформирован либо на ПЧ, либо непосредственно на РЧ. С другой стороны, при прямом преобразовании низкочастотного сигнала в радиочастотный можно использовать обычный нелинейный усилитель.

Входная двоичная последовательность данных  $\{a_n\}$  сначала преобразуется в две независимые последовательности символов  $\{a_n\}$  и  $\{b_n\}$  каналов  $I/Q$ , которые затем обрабатываются фильтром, определяющим форму импульса.

GMSK (*Gaussian Minimum Shift Keying*) – гауссовская модуляция с минимальным частотным сдвигом. Используется в стандарте GSM, а также и в других стандартах. В системах с GMSK произведение  $BT_b$  оп-

ределяет частоту среза предмодуляционного гаусовского фильтра. Значение произведения  $BT_b$ , равное 0,3, приведёт к более высокой спектральной эффективности по сравнению с  $BT_b = 0,5$ . Графики спектральной плотности мощности GMSK – сигналов приведены на рис. 3а и 3б соответственно. Необходимо отметить различную скорость спада огибающей спектральной плотности мощности при различных значениях  $BT_b$ .

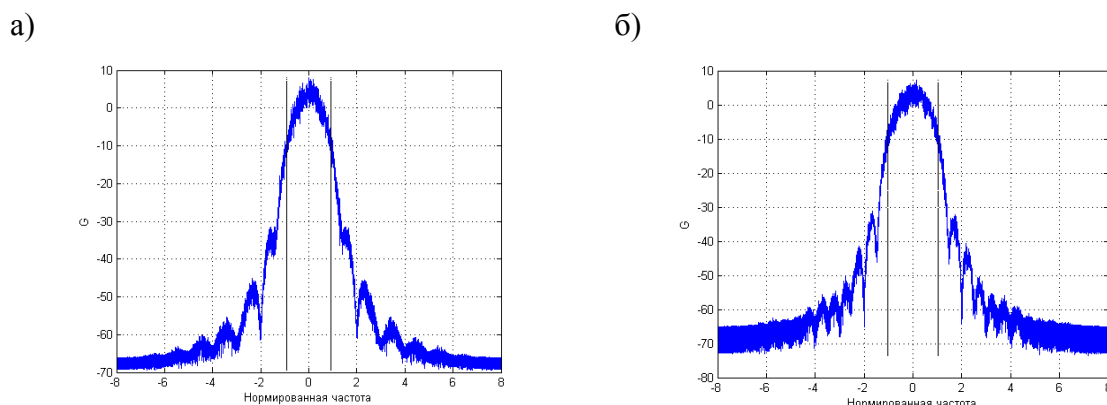


Рис. 3. СПМ GMSK-сигнала: а) при  $BT_b = 0,3$ ; б) при  $BT_b = 0,5$

Принципиальным преимуществом GMSK является высокий КПД и приемлемая помехоустойчивость. Возможна когерентная и некогерентная демодуляция. GMSK. Однако на практике GMSK имеет и некоторые недостатки. Относительно широкий главный лепесток спектра приводит к меньшей спектральной эффективности по сравнению с QPSK. Имеет меньшую помехоустойчивость относительно FQPSK. При значении  $BT_b = 0,3$  GMSK более чувствительна к системным не идеальностям, по сравнению с QPSK, что является ещё одним недостатком.

Структурная схема формирователя GMSK изображена на рис. 4.

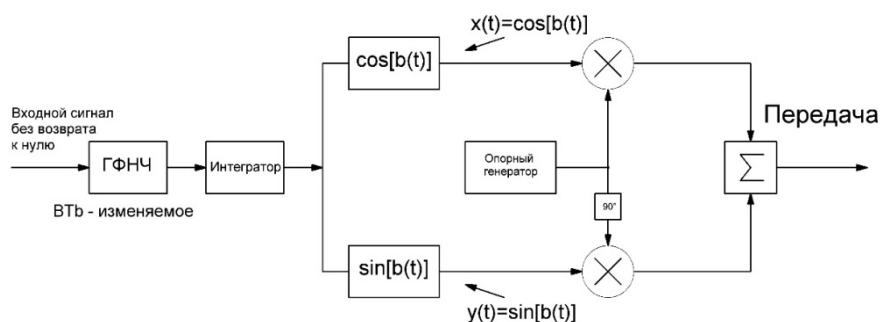


Рис. 4. Часто используемая схема модулятора GMSK

Постоянный или квазипостоянный уровень флуктуации огибающей данных радиосигналов обеспечивает высокую устойчивость к воздействию нелинейных искажений в оконечных каскадах передатчика, снижая мощ-



ность взаимных помех за счёт ограничения уровня внеполосного излучения [1, 2, 3].

#### Список используемых источников

1. Бибило П. Н. Основы языка VHDL. Изд. 3-е, доп. М.: Издательство ЛКИ, 2007. 328 с.
2. Кириллов С. Н., Покровский П. С. Программно-управляемый формирователь радиосигналов с нелинейными видами модуляции // Нелинейный мир. 2013. № 3. С. 150–157.
3. Горобец А. И., Степаненко А. И., Коронкевич В. М. Справочник по конструированию радиоэлектронной аппаратуры (печатные узлы). Киев:Техніка, 1985. 312 с.

УДК 621.376

## УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ФОРМИРОВАТЕЛЬ СПЕКТРАЛЬНО-ЭФФЕКТИВНЫХ РАДИОСИГНАЛОВ

Р. В. Гордийчук<sup>1</sup>, Ю. С. Гриценко<sup>2</sup>, А. А. Дунаева<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

*Объединения схем формирования спектрально-эффективных радиосигналов реализуемо на основе схемы генерации T-OQPSK. Создание формирователя на ПЛИС позволяет получить необходимый вид модуляции, формирующий необходимый сигнал на основе T-OQPSK.*

*T-OQPSK-сигнал, универсального формирователя, формирователя на ПЛИС.*

Существует ряд работ, где показана возможность объединения схем формирования спектрально-эффективных радиосигналов в одном устройстве, в том числе сигналов с фазовой и частотной манипуляцией. Анализ известных источников показывает, что подобное объединение реализуемо на основе схемы генерации T-OQPSK-сигналов, из-за того, что T-OQPSK сам по себе не спектрально-эффективный вид манипуляции. Изменение формы элементарного импульса на импульс вида:

$$p_1 = \sin^2 \left( \frac{\pi t}{2} \cdot T_s \right) \cdot \text{rect} \left( \frac{t}{2} \cdot T_s \right),$$

где  $\text{rect}(t) = 1$  при  $0 \leq t \leq 1$  и  $\text{rect}(t) = 0$  при  $t < 0$  и  $t \geq 1$ . Однако подобный подход приводит к увеличению уровня флуктуации огибающей, что вызывает нелинейные искажения радиосигнала. Более эффективным механизмом со-

кращения уровня флуктуаций огибающей при сохранении высокой спектральной эффективности и помехоустойчивости является внесение взаимосвязи между синфазной и квадратурной составляющими комплексной огибающей OQPSK-радиосигнала посредством нелинейного преобразования. Данный вид модуляции получил название FQPSK [1].

Помимо FQPSK-сигналов в современных системах передачи информации широкое распространение имеют GMSK-сигналы. П. А. Лораном доказана возможность представления GMSK-сигналов в виде линейной комбинации фазоманипулированных радиосигналов со специальными формами элементарных импульсов [2].

Схожесть методов формирования спектрально-эффективных радиосигналов позволяет, выявляя одинаковые принципы построения, использовать одну универсальную модель формирователя. На единой основе возможна реализация сигналов, эффективных в спектральной области, за счёт общности принципов изначального формирования.

На основе теории комплексной огибающей радиосигналов и современного формирования с использованием цифровых сигналов, предлагается объединить известные методы, для получения новых нелинейных видов модуляции.

Цель проектирования – создание универсального формирователя, позволяющего формировать необходимый радиосигнал, в зависимости от данных условий. За основу берётся T-OQPSK-сигнал, который в дальнейшем будет видоизменяться, под действием блоков формирователя, получая необходимый вид модуляции. Изменение формы радиосигнала будет зависеть от внесения различных связей между синфазной и квадратурной составляющей.

С помощью обычных математических преобразований, удаётся получить эффективное использование частотного спектра, решить проблему электромагнитной совместимости и повысить КПД всего передатчика.

Структурная схема включения формирователя в передатчик изображена на рис. 1.

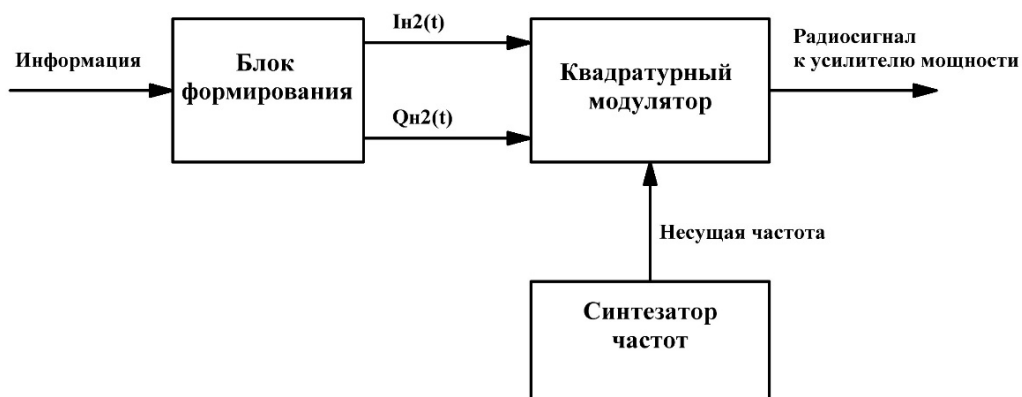


Рис. 1. Структурная схема включения универсального формирователя

Информационный поток поступает на блок формирования радиосигнала, который формирует квадратурные ( $Q_{н2}(t)$ ) и синфазные ( $I_{н2}(t)$ ) составляющие сигнала. Синтезатор частот формирует несущее высокочастотное колебание и подаёт его на квадратурный модулятор. Квадратурный модулятор формирует из  $Q_{н2}(t)$  и  $I_{н2}(t)$  радиосигнал. Далее радиосигнал поступает к усилителю мощности и на передающее оборудование.

При анализе свойств и взаимосвязей синфазной ( $I(t)$ ) и квадратурной ( $Q(t)$ ) составляющих были получены различные временные диаграммы радиосигналов на выходе блока формирования. Временная диаграмма Т-ОQPSK-сигнала, представленный на рис. 2.

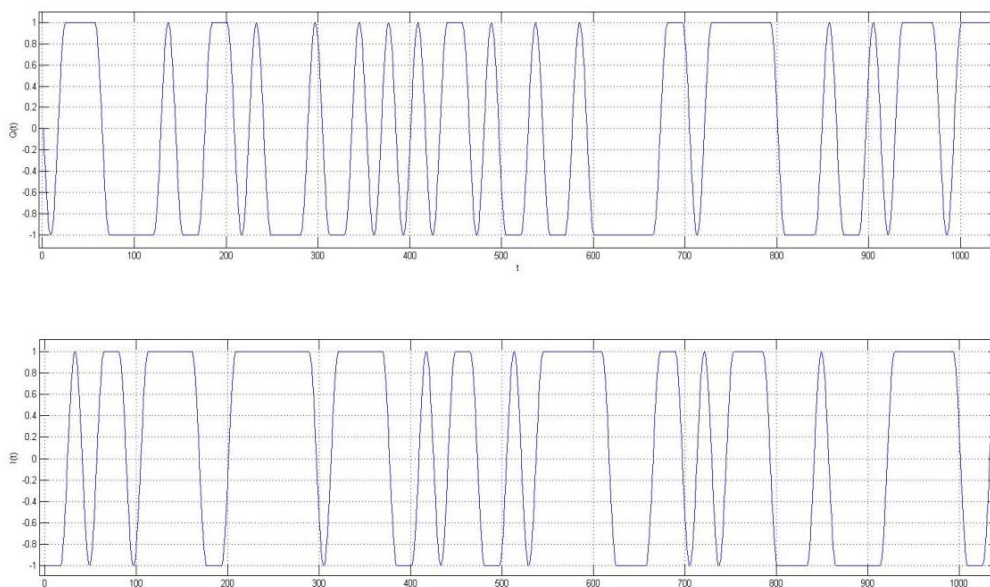


Рис. 2. Временная диаграмма Т-ОQPSK-сигнала в  $I$  и  $Q$  канале

Данный сигнал является основой для других видов модуляции используемых в связи с космическими аппаратами. На его основе формируются такие сигналы как FQPSK и GMSK. Общность формирования заключается в задержке квадратурного канала на длительность бита:

$$T_b = T_s/2,$$

а различие в глубине «завалов» появляющихся при внесении связей между  $I$  и  $Q$  каналами формирователя. Временная диаграмма сигналов FQPSK приведена на рис. 3.

Заметим главное отличие FQPSK от Т-ОQPSK – это появление «завалов» в форме сигнала. При этом появление таких завалов не влияет на значимые моменты, принятие решения происходит с малой вероятностью ошибки. Возможность программного управления глубиной этих связей позволяет формировать необходимый сигнал с общей принципиальной основой на одной и той же аппаратуре.

Создание формирователя на ПЛИС позволяет беспрепятственно реализовать все выше приведённые принципы на одной печатной плате, с учётом сохранения технических характеристик, а также проводить дальнейшие улучшения.

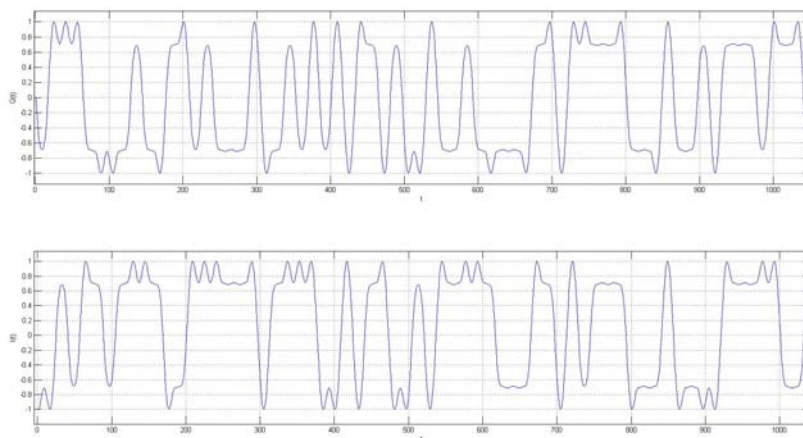


Рис. 3. Временная диаграмма FQPSK – сигнала в  $I$  и  $Q$  канале

Полученные выше теоретические сигналы реализованы в универсальном формирователе, заключающем в себе все выше изложенные основные принципы генерации спектрально-эффективных сигналов для связи с космическими аппаратами.

#### Список используемых источников

1. Зотов В. Ю. Проектирование цифровых устройств на основе ПЛИС фирмы XILINX в САПР WebPACK ISE. М.: Горячая линия-Телеком. 2003. 623 с.: ил.
2. Поляков А. К. Языки VHDL и VERILOG в проектировании цифровой аппаратуры. М.: СОЛОН-Пресс, 2003. 320 с.

УДК 628.477:[621.3.032+621.38.032]

## МЕТОД РЕАГЕНТНОЙ УЛЬТРАФИЛЬТРАЦИИ ДЛЯ РЕГЕНЕРАЦИИ МЕТАЛЛОВ ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ ЭЛЕКТРОННЫХ ОТХОДОВ

**К. Б. Греков, Н. Ю. Кун**

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

*Рассмотрены особенности и достоинства метода реагентной, или мицеллярно усиленной ультрафильтрации. Предложено использование данного метода для извле-*

чения благородных и редкоземельных металлов из разбавленных растворов, образующихся при переработке электронных отходов. Представлены экспериментальные данные по применению вариантов метода реагентной ультрафильтрации, основанных на переводе ионов металла в малорастворимую форму с остановкой образования осадка на стадии формирования коллоидной фазы, а также на их переводе в более крупные комплексные ионы по сравнению с исходными.

электронные отходы, регенерация металлов, мембранные технологии, реагентная ультрафильтрация.

В настоящее время для концентрирования и извлечения различных металлов, в том числе благородных и редкоземельных, из разбавленных технологических растворов, сточных и промывных вод и жидких отходов находят применение методы мембранной технологии, среди которых наиболее распространены и разработаны баромембранные методы – обратный осмос, нано- и ультрафильтрация и др. Характеристики указанных процессов, представленные в таблице [1]. Следует принять во внимание, что границы между различными баромембранными процессами весьма условны, и в ряде случаев на практике области их применимости могут взаимно перекрываться.

Среди баромембранных технологий особое место занимает реагентная, или мицеллярно усиленная ультрафильтрация, основанная на переводе растворённых низкомолекулярных компонентов в новое ассоциативное молекулярное состояние с последующим отделением образующихся ассоциативных форм на макропористой ультрафильтрационной мембране. Такой метод позволяет извлекать из растворов ионные соединения, не используя высоких давлений.

ТАБЛИЦА. Сопоставление областей применимости методов баромембранной технологии

Метод	Средний размер пор мембраны, нм	Молекулярная масса задерживаемых веществ, Да	Рабочее давление, МПа
Микрофильтрация	$10^2 - 10^4$	–	0,01 – 0,1
Ультрафильтрация	$(0,03 - 1) 10^2$	$10^3 - 10^6$	0,1 – 1,0
Нанофильтрация	< 3	$(0,5 - 1) 10^3$	0,5 – 1,5
Обратный осмос			2,5 – 25,0
В том числе, низконапорный обратный осмос	< 3	$< 5 \cdot 10^2$	1,5 – 2,5

А. А. Свитцов предлагает использовать следующие варианты реализации метода реагентной ультрафильтрации [2]:

1. Добавление в раствор водонерастворимого органического соединения, которое по механизму экстракции взаимодействует с нужным компонентом. Образующаяся эмульсия разделяется на пористой мембране с выполнением соответствующих требований.

2. Добавление в раствор ПАВ, которые при концентрации выше критической концентрации мицеллообразования приводят к дополнительной очистке за счет физической адсорбции загрязнителя на мицеллах ПАВ.

3. Добавление в раствор водорастворимых полиэлектролитов с такими функциональными группами, которые способны по механизму ионного обмена, комплексообразования и т. п. присоединить к себе нужные компоненты. Раствор остается гомогенным, и разделение его осуществляется по законам ультрафильтрации растворов высокомолекулярных соединений.

4. Добавление в раствор свежеприготовленного золя, на частицах которого за счет физической адсорбции связывается нужный компонент.

5. Перевод растворенных ионных частиц компонента в молекулярную, а затем коллоидную фазы при их гидролизе в результате добавления в раствор щелочи. Разновидностью этого варианта является электромембранный способ гидролиза.

6. Добавление в раствор химических реагентов, при взаимодействии с которыми нужный компонент переводится в нерастворимую форму. Образование осадка должно быть остановлено на стадии формирования коллоидной фазы.

Наиболее доступным на сегодняшний день является добавление в раствор химических реагентов, при взаимодействии с которыми нужный компонент переводится в нерастворимую форму. Образование осадка должно быть в этом случае остановлено на стадии формирования коллоидной фазы. Другой подход предусматривает образование при добавлении соответствующего комплексообразователя более крупных комплексных ионов по сравнению с исходными ионами выделяемого элемента [2].

Метод реагентной ультрафильтрации может быть отнесен к гибридным процессам, в которых сочетаются преимущества мембранных методов разделения (исключение фазовых переходов и применения растворителей, энергосбережение, экологическая чистота, низкие температуры, простота технологического оформления, сравнительно низкая стоимость) с другими технологиями обезвреживания. К основным отличиям метода реагентной ультрафильтрации от высокоэффективной обратноосмотической технологии, которая позволяет осуществлять глубокое обессоливание обрабатываемых растворов, следует отнести возможность селективного выделения заданного компонента из смесей сложного состава, отсутствие необходимости использовать высокие рабочие давления – не более 0,2–0,3 МПа вместо 10 МПа (и более) для обратного осмоса, более простые, дешевые и доступные установки мембранного разделения и т. д.

Для двухвалентных тяжелых металлов реагентная ультрафильтрация позволяет обеспечить достаточно высокую эффективность разделения даже в одностадийном процессе, а для трех- и четырехвалентных селективность разделения может быть уже практически 100 %.

Интерес представляет исследование японских ученых, разработавших технологию извлечения серебра из отработанных технологических растворов и промывных вод с помощью уникального осадителя – линейного винилового полимера, имеющего в своей цепи половинки дитиокарбаматов в качестве групп, захватывающих серебро [3, 4]. Один килограмм полимера способен удалить 2,3 моля серебра из промывных вод, содержащих серебряно-тиосульфатные комплексы. Для повышения эффективности очистки и степени извлечения серебра захвативший серебро полимер выделяется методом микрофильтрации. Когда смешанный с промывной водой полимер-осадитель проходит через слой осадка, вновь захваченное серебро задерживается в слое осадка, что приводит к снижению содержания серебра до 0,001–0,1 мг/л. Микрофильтрационная мембрана с размером 0,45 мкм работает при давлении ниже 0,08 МПа, обеспечивая производительность 12 л/м<sup>2</sup>\*ч [1, 3].

В настоящее время в мире прогнозируется значительный рост потребности в благородных и редкоземельных металлах (галлии, индии, германии, неодиме, платине тантале, палладии, рутении и др.) для производства электронного оборудования [4]. Отходы электронного оборудования, в том числе находящиеся на свалках, имеют важнейшее значение как источник ценных вторичных ресурсов, и прежде всего указанных выше металлов. Их извлечение и разделение, как при переработке природного сырья, так и при утилизации отходов представляет собой достаточно сложную технологическую задачу вследствие близости свойств этих элементов.

Для решения этой задачи были разработаны различные методы: дробного осаждения, кристаллизации, жидкостной экстракции, ионного обмена. В некоторых схемах разделения могут быть реализованы методы избирательного окисления и восстановления.

Нами были проведены опыты по выделению ионов различных благородных и редкоземельных металлов из разбавленных растворов. В качестве примера рассмотрим очистку раствора, содержащего ионы серебра. При этом были опробованы оба варианта реализации метода реагентной ультрафильтрации. Промывная вода с высокодисперсными частицами сернистого серебра, образующегося при добавлении сульфида натрия, пропусклась через ультрафильтрационную мембрану типа УПМ-50 (ячейка ФМ02) при давлении 0,5 МПа. Используя эту мембрану в ультрафильтрационной установке, удастся получать фильтрат, в котором практически отсутствуют сульфид-ионы и ионы серебра. Производительность испытанной мембраны составляла при этом 1–2 л/м<sup>2</sup>\*ч.

Показано также, что при добавлении в раствор нитрата серебра такого комплексообразователя как тиосульфат натрия задержка серебра в процессе мембранной фильтрации на мембране УАМ-100 (при рабочем давлении 6 МПа) резко возрастает (с 12–23 до 90–92 %).

При извлечении лантана эффективность традиционных схем дробного осаждения также можно существенно повысить за счет применения метода реагентной ультрафильтрации. Возможно также выделение различных комплексных соединений лантаноидов (например, ализаринкомплексона) методом нанофильтрации.

Таким образом, применение технологии реагентной ультрафильтрации, а также сочетание реагентных методов очистки и других методов мембранной технологии (например, микро- и нанофильтрации) представляется весьма перспективным для извлечения различных металлов при переработке электронных отходов.

#### Список используемых источников

1. Греков К. Б. Технологические и экологические проблемы химико-фотографической обработки кинофотоматериалов: учеб. пособие. СПб.: СПбГУКиТ, 2004. 208 с.
2. Свитцов А. А., Абылгазиев Т. Ж. Мицеллярно усиленная (реагентная) ультрафильтрация // Успехи химии. 1991. Т. 60. Вып. 11. С. 2463–2468.
3. Nakamura T., Iwano H. Self-ripening precipitation process – a linear polymeric precipitant and cross-flow microfiltration system to remove silver from photoprocessing wash water // Journal of Imaging Science and Technology. 1995. V. 39. N 5. PP. 419–424.
4. Марьев В. А., Комиссаров В. А. Надо ли создавать систему управления отходами электрического и электронного оборудования в России? // Рециклинг отходов. 2013. N 3 (45). С. 2–11.

УДК 681.5.015

## ПРОБЛЕМЫ ПЛАНИРОВАНИЯ МЕРОПРИЯТИЙ ОПЕРАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ НА ОБЪЕКТАХ АВТОМАТИЗАЦИИ СЕТЕЙ СВЯЗИ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

**В. М. Григорян, В. А. Куликов, М. В. Куликов**

Военная академия связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного

*Поиск путей сокращения длительности цикла планирования и управления остаётся одним из важнейших направлений в оптимизации управления. В условиях дефицита времени на принятие решения лицом, принимающее решение, должно быть мини-*



*мально возможным. Выработанное решение должно быть обоснованным, опираться на необходимые расчеты и содержать информацию, которая может быть представлена в текстовом и графическом виде.*

*оптимизация, планирование, сети связи специального назначения.*

Сокращения времени на принятие решения и его обоснованность явились предпосылками необходимости автоматизации процессов планирования мероприятий оперативно-технической службы (ОТС) на объектах автоматизации (ОА) сетей связи специального назначения (СН). Постоянная готовность автоматизированных систем управления к использованию по назначению и эффективность их применения достигается правильной организацией мероприятий ОТС на объектах автоматизации.

В процессе планирования мероприятий необходимо учитывать сложность получения всех исходных данных для организации ОТС за ограниченный период времени, перемещение полевых ОА при изменении обстановки по связи и автоматизации, что вызывает необходимость разработки (уточнения) документов по ОТС из новых районов их размещения.

В настоящее время одним из основных подходов к автоматизации планирования выступают методы, разработанные на основе моделей сетевого планирования и управления (СПУ). СПУ – это система планирования и управления различными процессами, основанная на использовании сетевых моделей, в частности сетевых графов, позволяющая определить оптимальную последовательность планируемых работ и их взаимосвязь.

Цель метода сетевого планирования – спланировать, организовать и произвести комплекс работ в полном объеме и с высоким качеством в заданное время. Его применение для автоматизации разработки документов по ОТС позволит:

- оптимальным образом выполнить весь комплекс работ, возлагаемых на систему планирования ОТС объекта автоматизации;
- скоординировать работу должностных лиц и обеспечить высокую наглядность хода выполнения работ, проводимых в системе управления и планирования мероприятий ОТС;
- иметь возможность в случае необходимости, перераспределять людские ресурсы между работами.

Для достижения качества процесса планирования мероприятий ОТС на объектах автоматизации этим процессом, необходимо управлять. При этом необходимо учитывать, что ОАУ состоит из подсистем, которые входят в состав системы как подчиненные. В системе можно выделить три уровня подчиненности: верхний – сам объект, средний – элемент ОАУ, нижний – боевые посты ОАУ. Исходя из сказанного, при планировании мероприятий ОТС целесообразно использовать иерархический (стратифицированный) подход к планированию мероприятий ОТС. Каждая страта

имеет свой перечень мероприятий и документов, которые нужно разработать. Страты верхнего уровня являются старшими по отношению к нижележащим. Это означает, что мероприятия верхней страты выступают исходными данными для мероприятий нижнего уровня. Стратифицированный подход позволяет увязать мероприятия верхних уровней с нижними во времени и между исполнителями, а также использовать как последовательный, так и параллельно-последовательный метод планирования.

Интерес к методам планирования и управления проектами в вооруженных силах от года в год все возрастает. Это обусловлено, во-первых, тем, что методология управления проектами позволяет реализовать подход к проекту как к системе, предусматривающей не только выработку решений по развитию потенциала системы, но и обеспечению их осуществления. Во-вторых, позволяет при разработке сложных систем различного назначения эффективно распоряжаться выделенными на реализацию проекта ресурсами, учитывая при этом такие факторы, как затраты, стоимость, прибыль, риск.

Использование должностными лицами ОАУ специальных программ при планировании технического обслуживания способно существенно повысить его эффективность на всех стадиях эксплуатации комплексов и средств автоматизации.

В большинстве случаев из-за большого объема планируемых действий, сложности методов распределения и оптимизации плана технического обслуживания проводить качественное планирование, осуществлять эффективный контроль и оперативную коррекцию без использования специальных программных средств невозможно.

Технология формирования плана разработки и прогнозирования технико-экономических показателей включает три этапа:

первичную оценку трудоемкости, количества специалистов, длительности разработки при учете минимального числа факторов на каждой стадии жизненного цикла ОАУ специального назначения;

представление типового первичного плана проведения мероприятий для каждой страты;

корректировку первичного плана и формирование рабочего плана проведения работ по мероприятиям ОТС и т. д.

Особо важную роль в управлении проектами играют задачи календарного планирования.

Задачи календарного планирования, как правило, многокритериальны, многоэкстремальны, имеют множество несвязанных решений и поэтому относятся к комбинаторным задачам со сложной алгебраической структурой и дискретными процессами оптимизации, далекими от тех непрерывных процессов и функций, которые в основном и изучались математикой в прошлом [1].

Анализ практических задач календарного планирования в управлении проектами показал, что в большинстве случаев для практических целей можно ограничиться решениями, находящимися в приемлемой близости экстремума целевой функции. Это обстоятельство наряду с отмеченными выше привело к возникновению и развитию многочисленных приближенных, преимущественно эвристических и полуинтуитивных подходов и методов для получения удовлетворительных календарных планов.

Существующие методы позволяют для традиционных сетевых моделей построить «рациональный» календарный план. Однако из-за неадекватности модели он может оказаться технологически или организационно недопустимым. При использовании обобщенных сетевых моделей (ОСМ) адекватность модели реальному процессу существенно повышается (имеется в виду организационно-технологический аспект). Но при этом возрастает объем операций по подготовке исходной информации, усложняется построение алгоритма, увеличивается число вычислений (в основном из-за наличия контуров в ОСМ). Несмотря на эти трудности, применение ОСМ во многих случаях является предпочтительным, а иногда и единственно возможным.

Необходимо учитывать трудовые, материально-технические и другие виды ресурсов, которыми располагает организация. Такие задачи преобладают в практике управления проектом и именно они наиболее трудны для решения. Алгоритмы временного анализа ОСМ являются необходимой составной частью алгоритмов решения общих задач календарного планирования.

В основе используемых программных средств лежит технология сетевого планирования и управления, основные положения которой были разработаны в 70-х годах.

В настоящее время на рынке программных продуктов имеются различные программные средства, реализующие сетевые методы планирования от мощных профессиональных систем до систем, позволяющих эффективно распорядиться рабочим временем, финансовыми средствами и т. п. Данные программные средства можно разделить по следующим категориям [2]:

- профессиональные системы планирования;
- системы планирования среднего класса;
- системы быстрого планирования;
- органайзеры (планировщики).

Среди программных продуктов, добившихся международного успеха в области управления проектом, наиболее заметны продукты фирмы Applied Business Technology Corporation «Project Manager Workbench», «Time-Line» фирмы Symantec и Microsoft Project от фирмы Microsoft.

Project Manager Workbench имеет все необходимое для оптимального распределения ресурсов, что гарантирует успешное завершение проекта при минимальных затратах на его реализацию. В качестве ресурсов может использоваться человек, группа людей, затраты, устройства. PMW позволяет сформировать несколько видов отчетов, описывающих расписания, расходы, контроль качества.

Time-Line и Microsoft Project относящиеся к системам среднего класса для управления проектами содержащими , позволяющими планировать и управлять выполнением до 10000 задач, ориентированные на использование непосредственно руководителями проекта.

Microsoft Project позволяет представить информацию о работах проектов в формах PERT, GANTT, календаря, позволяющих отобразить работы плана на одном-двух уровнях иерархии. Для каждой работы на данной диаграмме указываются длительность, сроки начала и конца, множество непосредственно предшествующих работ, исполнители, а также другие характеристики. Пользователю дополнительно предоставляются широкие возможности самому выбирать форму и совмещать их на экране монитора.

В качестве основного вида ресурсов в Microsoft Project используются исполнители работ (трудовые ресурсы), на основе которых имеется возможность оценить использование финансовых ресурсов. Microsoft Project имеет широкий набор готовых для использования отчетов (25 видов), разбитых на шесть групп, а также позволяет пользователю самостоятельно создать тот или иной отчетный документ по выполняемым работам, ресурсам и т. д. Основными отличительными чертами для систем данного класса является приемлемый интерфейс и простота оптимизационных алгоритмов, а также достаточный уровень совмещения в них функций экономического учета и анализ затрат на проекты.

Среди отечественных программных продуктов, реализующих методы сетевого планирования и управления, можно выделить систему ПЛАПС. Пакет прикладных программ «ПЛАПС» предназначен для прогнозирования технико-экономических показателей проекта, автоматизированного формирования плана разработки, формирования отчетных документов. Базой построения данной системы являются современные методы прогнозирования технико-экономических показателей и сетевого планирования (диаграммы Гантта).

В заключении хочется отметить, что в настоящее время должностные лица, отвечающие за планирование и контроль мероприятий ОТС, в большинстве не используют программные средства сетевого планирования, предпочитая им исполнение документов в графических и текстовых редакторах. Это неизбежно приводит к увеличению сроков разработки планов мероприятий ОТС на объектах автоматизации. Конечно, нужно учитывать, что использование средств сетевого планирование целесообразно начиная с уровней управления имеющих значительный объем задач, оперирующих

распределением ресурсов и обладающих малыми сроками на исполнение планов и их оперативную корректировку.

Целесообразность использования средств сетевого планирования, подтверждена во всем мире и несомненно, что вопрос внедрения средств и методов сетевого планирования в вооружённых силах только вопрос времени.

#### Список используемых источников

1. Анфилатов В. С., Емельянов А. А., Кукушкин А. А. Системный анализ в управлении: учеб. пособие для вузов. М.: Финансы и статистика, 2002. 368 с.
2. Барков С. А., Воропаев В. И., Секлетова Г. И. и др. Математические основы управления проектами: учеб. Пособие. М.: Высш. шк., 2005. 423 с.

УДК 621.311.6

## АНАЛИЗ МЕТОДОВ ДИАГНОСТИКИ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ СТАЦИОНАРНОГО УЗЛА СВЯЗИ

В. А. Гриднев<sup>1</sup>, О. П. Купчиненко<sup>2</sup>, С. И. Юшников<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

<sup>2</sup>Военная академия связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного

<sup>3</sup>Военный институт (военно-морской политехнический) ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия»

*В статье проанализированы методы и способы диагностирования элементов систем электропитания стационарного узла связи, рассмотрены интегральный и дифференциальный виды диагностирования и основные методы поиска неисправностей в технических системах.*

*интегральное диагностирование, дифференциальное диагностирование, поиск неисправностей.*

Практика эксплуатации технических систем, в том числе и системы электропитания (СЭП) стационарного узла связи (СУС), убедительно показывает, что на СУС обычно нет подробных руководств по отысканию и устранению неисправностей. Многие специалисты при поиске неисправностей в таких технических системах придерживаются некоторых общих правил:

– измерение формы различных видов выходных сигналов системы с целью определения вероятностного места нахождения неисправности;

– анализ показаний встроенных индикаторов состояния элементов системы и средств измерений для уточнения первоначальной гипотезы о месте нахождения неисправности;

– измерение и анализ сигналов в различных точках диагностируемой системы с последующей пробной заменой элементов системы с предполагаемой неисправностью до ее устранения.

Таковыми сменными элементами обычно являются съемные блоки (модули, кассеты).

Не алгоритмизированный поиск приводит к массам пропусков, повторов и ошибок. Поэтому задача разработки диагностического обеспечения для СЭП решается в том числе в целях привития начинающим специалистам по эксплуатации навыков поиска неисправностей.

Существует много способов поиска неисправностей и методов диагностирования составных частей электроэнергетических систем. Однако все способы и методы можно отнести к двум видам диагностирования.

Первый вид называется интегральным диагностированием. Он возможен в тех ситуациях, когда о состоянии объекта диагностирования можно судить по проверкам одного или небольшого числа одновременно наблюдаемых параметров, либо путем охвата взглядом некоторой конфигурации или движения объекта, либо ощупыванием поверхности с оценкой таких интегральных явлений, как вибрация, температура, излучение. В ряде случаев, если это возможно, делается сквозное обследование объекта диагностирования. Как правило, на основе этого вида диагностирования строятся сложные автоматизированные системы, которые сначала вычисляют один, заранее выбранный по определенному алгоритму обобщающий параметр состояния системы, а затем на основе анализа полученных результатов выдают рекомендации обслуживающему персоналу. Обычно данный вид диагностирования используется с целью оперативного изменения конфигурации СЭП для обеспечения потребителей электроэнергией требуемого качества за счёт избыточности структуры. Однако степень агрегатирования при этом велика и не предполагает выяснения причины и локализации самой неисправности.

Другой вид диагностирования называется дифференциальным диагностированием. Он осуществляется путем последовательной оценки частей объекта диагностирования (ОД) по их параметрам. На рис. 1 приведена классификация методов и способов диагностирования, применяемых на практике для различных элементов СЭП.

Естественно, что хотелось бы использовать методы интегральной диагностики, при которых сам процесс поиска либо скрыт от оператора, либо сокращен до минимума. Но часто по различным причинам (невозможность определения обобщающего параметра, разнородность принципов действия

различных элементов СЭП и др.) это либо невозможно, либо не приводит к нужному результату.



Рис. 1. Классификация методов и способов диагностирования

Попытка ограничиваться применением методов и способов интегральной диагностики рано или поздно приводит к необходимости применения методов дифференциальной диагностики. Применение только методов интегральной диагностики приведёт к быстрому накоплению неисправных элементов и высокой вероятности полного отказа СЭП, а значит невыполнению требований по устойчивости функционирования СУС и возможному срыву выполнения боевых задач. Из этого следует, что все методы по возможности должны совмещаться с учетом их точности, быстроты проверки и минимума времени и стоимости диагностирования.

Диагностирование всегда связано с проверкой некоторых параметров исследуемого объекта. Эти параметры могут быть естественными, то есть рабочими явлениями, сопровождающими действие объекта при выполнении им своих функций, либо искусственными, т. е. явлениями, возникающими при пробных воздействиях на объект. В первом случае диагностирование именуется функциональным, а во втором – тестовым. Очень редко удастся по наблюдению значения только одного параметра ОД сделать заключение о его состоянии. Так, например, при тестовом диагностировании цифровых устройств радиоэлектронной аппаратуры (РЭА), когда по виду отклика на тест иногда можно выявить место отказа, приходится осуществлять сравнение наблюдаемого отклика с таблицей заранее установленных соответствий между видом отклика и соответствующими ему неисправностями объекта, то есть осуществлять поиск неисправности по таблице неисправностей. Поэтому в содержание диагностирования входят следующие действия:

- установление мест съема и видов проверяемых диагностических параметров изделия;
- выявление границ изменения параметров, внутри которых значение каждого параметра считается нормальным;
- выбор и построение процедуры (последовательности) проверок параметров и сопоставление их значений.

Два первых действия связаны с физикой работы объекта и влиянием нарушений, вызывающих отклонения значений параметров от норм и выходом за пределы поля допуска. При этом параметрами могут быть не только измеряемые величины, но и ступенчатые сигналы (типа свечения сигнальных ламп), а также явления, сопровождающие исключение или замену любого элемента объекта и реакции объекта на пробные стимуляции естественного или искусственного характера.

Третий вид действий относится к логике сбора и сопоставления значений параметров, то есть к поиску причины, породившей ненормальные сочетания этих значений при отказе объекта независимо от того, является диагностирование тестовым или функциональным.

Классификация методов поиска неисправностей приведена на рис. 2.

Она построена на основе совместного изучения и сопоставления методов поиска, описанных в научно-технической литературе. Классификация начинается с самого простого метода поиска посредством случайного выбора элемента из некоторого их множества  $M_L$ , проверки его характеристик на предмет соответствия искомому значению и при соответствии – завершения поиска, а при несоответствии – возвращения к множеству  $M_L$ .

При этом величина математического ожидания числа возможных шагов поиска (числа проверок)  $E_k(L, p)$ , определяется по формуле:

$$E_k(L, p) = \sum_{k=1}^{\infty} kp^{k-1}(1-p),$$

где  $p$  – вероятность того, что элемент по своим характеристикам соответствует искомому,  $L$  – число ветвей,  $k$  – длина ветви [1].

Важное значение в практике обслуживания СЭП имеют методы, в которых поиск осуществляется в соответствии с последовательным перебором, ограниченным числом элементов во множестве  $M_L$ . Применяются также методы, учитывающие логику взаимодействия элементов во множестве  $M_L$ , то есть характер и конфигурацию пространства неисправных состояний СЭП. В классификации приведены небинарные процедуры поиска, для которых число процедур  $m > 2$ . Обычно такие методы применяются в автоматических устройствах диагностирования или при групповых способах локализации неисправностей [2]. Во всех случаях для оценки процедур диагностирования избрана средняя длина процедуры поиска:



$$K_{cp}(\psi) = \frac{1}{L(\psi)} \sum L(\psi)k_i,$$

где  $L(\psi)$  – число ветвей дерева (направлений поиска),  $k_i$  – длина  $i$ -ой ветви  $\psi$ -го дерева (графа, описывающего процедуру локализации неисправности).

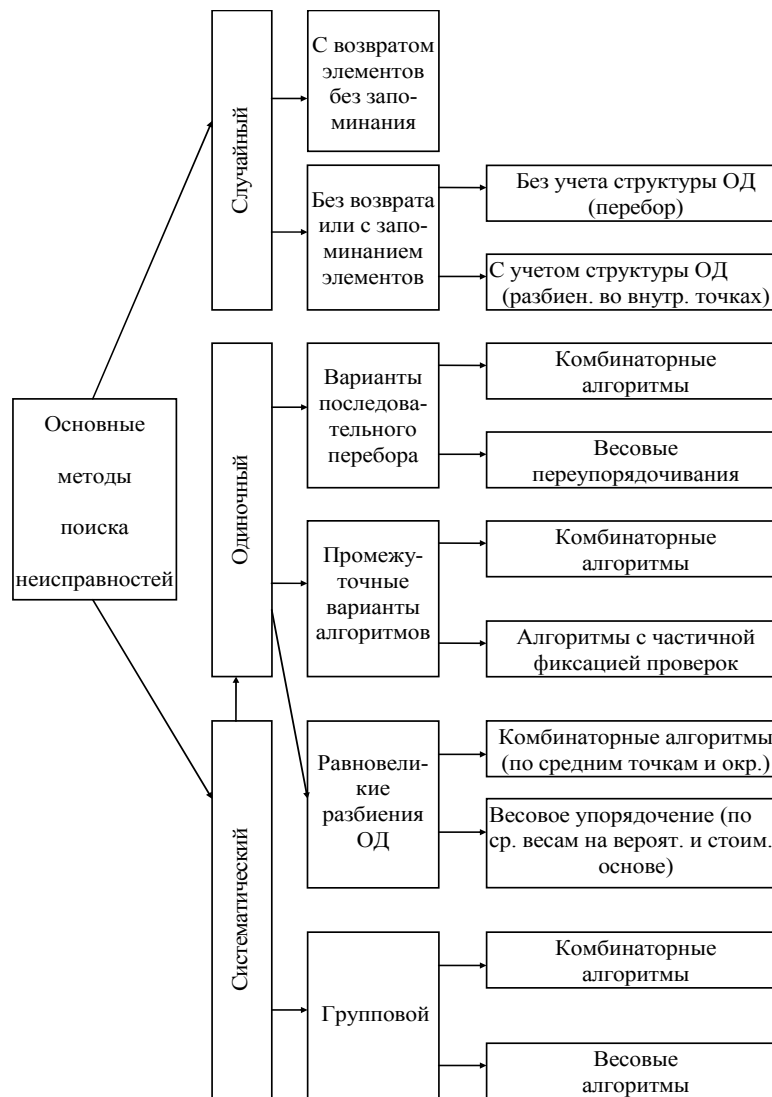


Рис. 2. Основные методы поиска неисправностей

Таким образом, проведенный анализ методов и способов диагностики позволяет сделать обоснованный выбор оптимального метода его реализации в технических системах, в том числе и в СЭП СУС.

#### Список используемых источников

1. Техническая диагностика и ремонтпригодность средств и комплексов связи: пособие по дипломному проектированию / Под ред. С. П. Ксёнга Л.: ВАС, 1982. 216 с.
2. Кичатов В. И., Ксёнг С. П. Диагностическое обеспечение при модульно-агрегатном способе ремонта резервированной аппаратуры // В кн. «Повышение надёжности и качества промышленных изделий». Л.: ЛДНТП, 1985. С. 124.

УДК 004.02

## НЕКОТОРЫЕ ПОДХОДЫ К ФОРМИРОВАНИЮ ТОПОЛОГИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЕЙ

**В. Г. Гришанов**

ОАО «СУПЕРТЕЛ», Санкт-Петербург

*Классическое решение задачи синтеза структуры сетей связи включает три этапа: формирование топологии, расчет потоковой структуры и синтез физической структуры. На этапе формирования топологической структуры сетей связи используются: методы кластерного анализа и оценки структурной надежности сети; алгоритмы триангуляции, формирования минимального остовного дерева, цикла Гамильтона и другие. Представляет определенный интерес решение задачи по их практической реализации с целью формирования пула методов, из которых возможно осуществить выбор наиболее адекватного при практическом синтезе структуры телекоммуникационной сети.*

*топологическая структура, методы оптимизации, практическая реализация, кластерный анализ, структурная надежность сети, триангуляция, минимальное остовное дерево.*

Надежность является одним из важнейших качеств сети связи. Сеть связи, развернутая в интересах органов управления и обладающая достаточными значениями показателей надежности, способна обеспечить требуемый уровень непрерывности и оперативности управления.

Научно-методический аппарат в области синтеза надежных структур сетей связи достаточно хорошо проработан и постоянно совершенствуется. Выбор подходов, методов и алгоритмов для формирования надежной структуры сети связи необходимо осуществлять с учетом назначения и размерности сети, а также практической реализуемости методов. Работы многих ученых [1, 2, 3, 4, 5] посвящены данной предметной области и сформировали ряд научных направлений. Особого внимания заслуживает подход к синтезу сети связи на основе декомпозиции сложной задачи на ряд последовательно и взаимосвязано решаемых подзадач синтеза топологической, потоковой и физической структуры сети.

Топологическая структура сети представляет собой совокупность узлов связи и соединяющих их линий связи. Каждый элемент топологической структуры имеет ряд параметров, например, топографические координаты (узла связи, начала и конца линии связи), надежность, протяженность линии связи и т. д.

Потоковая структура формируется на основе топологической структуры и представляет собой совокупность информационных направлений и массив маршрутов передачи информации в интересах каждого информационного направления, позволяющий определить нагрузку на каждой линии связи.

Физическая структура сети формируется на основе потоковой структуры и представляет собой совокупность телекоммуникационного оборудования, распределенного по узлам и линиям связи, и выбранных типов и конструкций сред распространения для каждой линии связи.

Математическое представление топологической, потоковой и физической структур, а также формализация задач их синтеза, как правило, осуществляется с помощью теории графов.

Топологическая структура сети может формироваться последовательным решением следующих задач:

- нахождение для исходного множества узлов сети (вершин графа) остова сети (минимального остовного дерева, цикла Гамильтона);
- введение дополнительных линий (ребер) для получения достаточной связности сети;
- выполнение локальных преобразований с целью устранения «слабых» мест сети.

Существует множество известных алгоритмов для решения этих задач, таких, как: Прима, Краскала, Борувки, Беллмора и Немхаузера, Гарфинкеля и Немхаузера, Хелда и Карпа, Стекхана, X-трансформаций и др. [6, 7, 8], позволяющих с допустимыми временными затратами получить приемлемый вариант топологической структуры для сетей небольшой размерности, состоящих из 100–150 узлов. Формирование топологии сети большей размерности с применением указанного подхода требует существенных временных затрат, что обусловлено выявлением «слабых» мест сети и оценкой значений структурной надежности. Эвристические алгоритмы, такие, как генетические алгоритмы, искусственные иммунные системы, позволяют снизить временные затраты, но обладают низкой эффективностью, что обусловлено высокой вероятностью получения недопустимого решения.

Следует отметить, что для сетей связи РФ характерны области со скоплениями узлов и районы с разреженным размещением узлов. Выявление скоплений узлов (кластеров) и нахождение необходимого количества линий для соединения между собой кластеров позволит повысить качество решения по нахождению топологической структуры сети.

Анализ научно-методического аппарата синтеза топологической структуры сети показал, что для формирования топологии сети большой размерности целесообразно найти подходы, которые обладают низкой сложностью, могут быть реализованы на практике и позволяют снизить

временные затраты при допустимом качестве получаемого решения. Формирование топологической структуры предлагается осуществлять последовательным решением следующих задач:

- формирование с применением алгоритмов триангуляции допустимого множества линий для добавления в топологию;
- нахождение остова сети и областей скопления узлов с применением метода минимального покрывающего дерева;
- введение дополнительных линий.

Формирование допустимого множества линий для добавления в топологию может быть выполнено с применением жадного алгоритма триангуляции, что обусловлено его низкой асимптотической сложностью. Исходными данными для решения задачи является множество узлов

$$A = \{a_i(x_i, y_i)\}, i = \overline{1, N},$$

где  $a_i(x_i, y_i)$  –  $i$ -й узел связи с координатами  $x_i$  и  $y_i$ ;  $N$  – количество узлов.

Необходимо найти допустимое множество непересекающихся ребер:

$$B^{\text{доп}} = \{b_j(a_k, a_l)\}, j = \overline{1, M},$$

удовлетворяющих условиям:

$$\sum_{j=1}^M L_j \rightarrow \min, \quad (1)$$

$$M \rightarrow \max, \quad (2)$$

при ограничениях на пересечение линий и наличие петель в сети:

$$\forall s, t \nexists b_s \cap b_t, \quad (3)$$

$$\forall s, k \nexists b_s(a_k, a_k), \quad (4)$$

где  $b_j(a_k, a_l)$  –  $j$ -е ребро (линия) между узлами  $a_k$  и  $a_l$ ;  $M$  – количество допустимых ребер;  $L_j$  – длина  $j$ -го ребра.

Выполнение условия (2) справедливо для полносвязного графа с бесконечным количеством петель. Учитывая ограничения (3)–(4), условие (2) выполняется для структур, полученных с помощью триангуляции. Нахождение оптимальной триангуляции по критерию (1) основано на жадном алгоритме и заключается в полном переборе всех вариантов построения. Задачопостроения оптимальной триангуляции является NP-полной. Снижение трудоемкости можно достичь за счет применения модифицированного алгоритма поиска оптимальной триангуляции, основанного на методе ветвей и границ и усовершенствованном жадном алгоритме. Метод ветвей и границ позволит заведомо исключить из полного перебора не оптимальные варианты. Усовершенствование жадного алгоритма заключается в исключении этапа сортировки линий, что позволит снизить трудоемкость до  $O(N^2)$  в худшем случае.

Нахождение остова сети и областей скопления узлов с применением метода минимального покрывающего дерева заключается в формировании графов подсетей:

$$G_p(A_p, B_p) \quad p = \overline{1, s},$$

при условии, что любые два графа не имеют общих узлов:

$$A_1 \cap A_2 \cap \dots \cap A_p = \emptyset.$$

Формирование данных графов возможно выполнить с помощью следующих действий:

1) формируется минимальное остовное дерево  $G_{\text{мод}}(A, B_{\text{мод}})$  и рассчитывается средняя длина линий связи в нем:

$$L_{\text{ср}} = \frac{\sum_{q=1}^{M_{\text{мод}}} l_q}{M_{\text{мод}}}, \quad M_{\text{мод}} = |B|;$$

2) из структуры линий удаляются линии, удовлетворяющие условию:

$$b_q: l_q > L_{\text{ср}}, \quad (5)$$

3) на полученной структуре методом перетягивания вершин формируются графы  $G_p$ .

Если количество вершин в кластере меньше требуемой связности сети ( $h_{\text{св.тр.}}$ ), то такой кластер объединяется с соседним по критерию минимальной протяженности линии из этого кластера к соседнему из множества удаленных линий.

Введение дополнительных линий может быть выполнено по следующим этапам:

1) Выбор минимальной по протяженности линии из множества удаленных линий (5).

2) Формирование двух массивов узлов  $A'_{p1}$  и  $A'_{p2}$ . Массивы включают в себя те вершины из исходных подграфов, ранг которых меньше  $h_{\text{св.тр.}}$ . Если  $A'_{p1} = \emptyset$  или  $|A'_{p1}| < h_{\text{св.тр.}}$ , тогда в массив  $A'_{p1}$  включаются все узлы графа  $G_{p1}$ . Если  $A'_{p2} = \emptyset$  или  $|A'_{p2}| < h_{\text{св.тр.}}$ , тогда в массив  $A'_{p2}$  включаются все узлы графа  $G_{p2}$ .

3) Формирование массива ребер  $B'$  графа из полученного ранее допустимого множества непересекающихся ребер, которые потенциально могут быть введены в структуру сети между узлами  $A'_{p1}$  и  $A'_{p2}$ .

4) Формирование объединенного графа  $G' = G_{p1} \cup G_{p2}$ . Добавление в граф  $G'$  ребер  $b'_{p1p2}$  из отсортированного по протяженности ребер массива  $B'$  начиная с минимального. Добавляемые ребра  $b'_{p1p2}$  не должны иметь общих вершин. Если после первого прохождения количество добавленных ребер меньше  $h_{\text{св.тр.}}$ , то осуществляется второй проход по отсортированному массиву  $B'$  и добавляются ребра в порядке минимальной протяженно-

сти, в том числе и ребра, имеющие общие вершины с ранее добавленными. На втором проходе ребра добавляются до тех пор общее количество добавленных ребер меньше  $h_{\text{св.тр.}}$ .

Предлагаемый подход позволяет существенно снизить временные затраты и исключить в решении пересекающиеся линии связи, что обуславливается применением алгоритмов триангуляции для нахождения допустимого множества линий для добавления в топологическую структуру.

Таким образом, существует подход к формированию надежных структур сети связи большой размерности, заключающийся в применении алгоритмов триангуляции и кластеризации. Представленный подход реализован в программном обеспечении «Супертел – Сетевик», что расширило его функциональность и позволило за приемлемое время находить решения для сетей связи с количеством узлов связи более 1000.

#### Список используемых источников

1. Лебедев А. Т., Муравцов А. А. Оптимизация топологической структуры региональной цифровой транспортной сети связи территориальной системы связи ВС РФ // Сб. «Труды НИЦ № 10». СПб.: ВУС, 2003.
2. Лебедев И. А., Тумановский И. А. Построение региональных первичных цифровых сетей связи // Телекоммуникационные технологии. 2000. Вып. 1. С. 132–139.
3. Лебедев А. Т., Любимов А. Г. Развитие методов решения задачи о многопродуктовом потоке применительно к расчету первичных сетей связи // Труды ВАС. Научно-технический сборник. № 33. Л.: ВАС, 1988.
4. Столяров В. И. Совершенствование методик и алгоритмов... : дис... канд. тех. наук / Столяров В. И. СПб., 1998. 222 с.
5. Готнога С. В. Оптимизация структуры цифровой первичной... : дис... канд. тех. наук / Готнога Сергей Васильевич. СПб, 2002. 322 с.
6. Харари Ф. Теория графов: пер. с англ. М.: Мир, 1973. 300 с.
7. Кристофидес Н. Теория графов. Алгоритмический подход: пер. с англ. М.: Мир, 1978. 432 с.
8. Берж К. Теория графов. М.: ИЛ, 1962. 320 с.

*Статья представлена начальником отдела, кандидатом технических наук  
Д. К. Елисеевым.*

УДК 535.015

## ОДНОМОДОВЫЕ ОПТИЧЕСКИЕ ВОЛОКНА СВЯЗИ ДЛЯ СТАЦИОНАРНЫХ WDM-СИСТЕМ «ДУНАЙ». ПРИМЕНЕНИЕ В ВООРУЖЕННЫХ СИЛАХ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

О. А. Губская<sup>1</sup>, Д. С. Самаркин<sup>2</sup>, А. И. Толмачева<sup>2</sup>, А. А. Яхункина<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Военный институт физической культуры Министерства обороны РФ

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

*В данной статье рассказывается о применении WDM-системы «Дунай» в Вооруженных Силах Российской Федерации. Эта система раннего обнаружения для объектов критической инфраструктуры. Акустический сенсор позволяет зарегистрировать сигналы от источников, расположенных в десятках и даже сотнях метров от кабеля, оператор системы получает сигналы тревоги до того, как нарушитель пересечет рубеж охраны. «Дунай», является перспективной разработкой, которую можно применять в Пограничных войсках, в частности, на пограничных заставах для детектирования местности. Особенно, эта система была бы полезна в районах, где плохая видимость (в горах).*

*оптическое волокно, WDM-система «Дунай», одномодовые оптические волокна, спектральное уплотнение каналов.*

История оптического волокна началась в 1934 г., когда американец Норман Р. Френч запатентовал оптическую телефонную систему, в которой сигналы передавались при помощи света по стержням чистого стекла. Это был первый аналог оптической линии связи. В настоящее время это одно из наиболее перспективных направлений во многих отраслях промышленности: применяются также для передачи мощного лазерного излучения в технологических и медицинских применениях; в волоконно-оптических датчиках; устройствах обработки оптических сигналов и т. д. Но основная область применений оптических волокон — оптические телекоммуникации [1].

*Оптическое волокно* – оптический волновод в виде тонкой нити из оптически прозрачного материала, в котором свет направляется сердцевинной. Существует большое количество разных по классификации таких световодов. Одним из наиболее распространённых классов являются одномодовые кварцевые волокна, обладающие уникально малыми потерями (примерно ~ 0,16 дБ/км на длине волны 1,55 мкм) [1]. Именно такого типа световод используется в рассматриваемой далее в WDM-системе мониторинга и охраны «Дунай» (класса SMF-28) [2].

*Спектральное уплотнение каналов* (англ. *Wavelength-Division Multiplexing*, WDM – мультиплексирование с разделением по длине волны) – технология, позволяющая одновременно передавать несколько информационных каналов по одному оптическому волокну на разных несущих частотах. Другими словами, система помогает увеличить пропускную способность световода, помогает передавать высокоскоростные сигналы на большие расстояния без применения накачки в волокне. Например, в Научно-исследовательском центре «Т8 НТЦ» была создана 9,6 Тбит/с DWDM-платформа 10·100 Гбит/с передано на 500км в однопролетной линии [3].

WDM-система «Дунай» была одной из продемонстрированных на Международном Военно-Техническом Форуме «Армия – 2016», прошедшего с 6 по 11 сентября 2016 г. на полигоне Алабино [2]. «Дунай», по нашему мнению, является перспективной разработкой, которую можно применять в Пограничных войсках, в частности, на пограничных заставах для детектирования местности. Особенно, эта система была бы полезна в районах, где плохая видимость (в горах). В таблице приведены воздействия на систему и максимальные расстояния до оптического кабеля [2].

ТАБЛИЦА. Воздействия на систему и максимальное расстояние до оптического кабеля

Возможное воздействие	Максимальное расстояние до кабеля, м
Движение человека	5
Движение легкового автомобиля	20
Движение грузового автомобиля	80
Движение тяжелой гусеничной техники	300
Наземные, подземные строительные и земляные работы	100
Движение подводного/надводного объекта	100

Принцип работы «Дуная» устроен на анализе изменения в интерференционной картине сигнала обратного рассеяния от посланных периодических импульсах в одномодовое оптическое волокно, которое является распределённым чувствительным элементом [2]. На наш взгляд, характеристики системы можно улучшить, используя описанные далее специализированные световоды.

Применяемые в WDM-системах волокна должны обладать низкой дисперсией в полосе используемых длин волн (чтобы снизить межсимвольную интерференцию), малыми потерями на затухании (для использования их на большие расстояния без дополнительной накачки) и малозатратными в своем исполнении. Этим параметрам удовлетворяют



оптические волноводы с пониженным затуханием, которые бывают двух видов:

1. С нулевым пиком воды.
2. С сердечником из чистого кварца.

Разработка волокон из чистого кварца направлена на минимизацию потерь рассеяния Рэлея, обусловленных наноскопическими флуктуациями коэффициента преломления. Средняя величина затухания в серийно выпускаемых волокнах составляет 0,168 дБ/км на 1550 нм, хотя минимальные потери на длине волны 1580 нм еще на несколько тысячных ниже [4]. Но свойства волокна с кварцевым сердечником очень чувствительны к условиям прокладки. Данные волокна необходимо протягивать очень аккуратно, так как большинство растягивающих усилий при волочении действуют в сердцевине (профиль и индекс преломления может измениться настолько, что индекс сердцевины понизится до величины индекса оболочки [4]), поэтому световоды с сердечником из чистого кварца необходимо вытягивать и укладывать со скоростью 1–2 м/с. Такая низкая скорость волочения влияет на цену волокна, поэтому этот вид используют в подводных системах (под водой), где возможна работа без регенерации, на больших расстояниях и с низкими потерями в волокне [4]. То есть, оптические волноводы с кварцевым сердечником можно внедрить в WDM-системы для детектирования территорий и объектов, в которых присутствуют водные объекты природного и искусственного происхождения (озера, реки, водоканалы, болота), либо при наблюдении за морскими границами.

Одномодовые волокна с нулевым пиком воды более практичны, имеют низкие потери, в них удалён пик потерь воды стандартного одномодового волокна с согласованным или «пониженным» типом профиля. Такие волокна превышают требования стандарта G.652D и стали стандартом высококачественного волокна. Потери на «пике воды» 1384 нм исторически превышали потери примерно на 30 % в окне с низкими потерями между 1260 и 1625 нм. В последние годы на стандартных волокнах затухания «пика воды» ограничивалось величиной 2 дБ/км. Устранение пика потерь открыло возможность использования в многоканальных системах WDM (16-канальных CWDM в частности), кроме того, ликвидировала главную причину, ограничивающую эффективность рамановских усилителей. На практике это было реализовано в волокнах типа ZWP, LWP (для менее требовательных условий использования) [4].

Следует отметить, что при разработке и применении ZWP/LWP волокон акцент делается на волокно G.652 с нулевой дисперсией около 1310 нм. Кроме того, благодаря низким потерям на длине волны 1450 нм может быть расширена полоса частот волокон NZDF с LWP для работы систем DWDM и повышена эффективность рамановской накачки [4]. Наи-

более подходящие для детектирования сухопутной или горной местности являются волокна G.655 и G.656 с ненулевой смещённой дисперсией.

Применение WDM-системы не ограничивается только контролем границ, её можно использовать для охраны:

1. Военных баз.
2. Пунктов управления.
3. Узлов связи.
4. Отдельно размещённых объектов связи, в том числе, труднодоступной местности (в горах, болотах и т. п.).
5. Транспортных средств (автомобилей, БТР, мотоциклов).
6. Медицинских пунктов и санитарных частей.
7. Пульты управления.
8. Заводы по ремонту средств связи.
9. Мастерские по ремонту средств связи.
10. Склады с техникой связи текущего довольствия.
11. Склады с техникой связи НЗ и ДХ.
12. Жилая зона (казармы, столовые, клубы, дома офицерского состава и т. п.).

Более того, «Дунай» является очень выгодным в изготовлении и эксплуатации, так как:

- на 40 км протяженности потребуется лишь одно устройство обработки сигнала, но можно увеличить протяженность линии до 75 км;
- имеется устойчивость к электромагнитным воздействиям, что является полезным фактором в трудных геодезических условиях;
- интеграция с принимающими устройствами по протоколу Ethernet: видеонаблюдение, информирование и др.;
- использование стандартного оптического волокна как чувствительного элемента (требуется одно волокно в кабеле);
- не требует обслуживания, легкость монтажа (не требуется высокая квалификация);
- высокая надежность системы;
- система управления, совместимая с телеком-стандартами, журнал учета основных параметров, оптический канал управления.

В заключении хотелось бы сказать, что в результате исследования можно сделать вывод, что WDM-система «Дунай» полезна в применении в ВС РФ благодаря лёгкой эксплуатации, малым затратам на изготовление и установку. Улучшить производительность и характеристики системы можно улучшить с помощью описанных в исследовании одномодовых оптических волокон с нулевым пиком воды и с сердечником из чистого кварца, которые имеют малые потери, не нуждаются в накачке.

**Список используемых источников**

1. Листвин А. В., Листвин В. Н., Швырков Д. В. Оптические волокна для линий связи. М.: ЛЕСАРпт, 2003. 288 с.
2. Научно-исследовательский центр «Т8 НТЦ». Система мониторинга и охраны «Дунай» [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://www.t8.ru/?page\\_id=221](http://www.t8.ru/?page_id=221). (дата обращения 07.12.2016).
3. Википедия – свободная энциклопедия. [электронный ресурс]. Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Спектральное\\_уплотнение\\_каналов](https://ru.wikipedia.org/wiki/Спектральное_уплотнение_каналов) (дата обращения 07.12.2016).
4. Мендес А., Морзе Т. Ф. Справочник по специализированным оптическим волокнам: пер. с англ. Н. А. Бирюкова / Под ред. К. А. Пестрецов. М.: ТЕХНОСФЕРА, 2012. 728 с.

УДК 621.396

**ОЦЕНКА ДОСТУПНОСТИ СРЕДСТВ СПУТНИКОВОЙ  
НАВИГАЦИИ В УСЛОВИЯХ ОГРАНИЧЕННОЙ  
ВИДИМОСТИ НАВИГАЦИОННЫХ  
КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ****М. О. Дворовой, И. С. Мешков, Д. В. Сальников, С. А. Якушенко**

Военная академия связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного

*В работе предложен способ оценки доступности средств спутниковой навигации, размещенных на наземных подвижных объектах специального назначения в условиях ограниченной видимости навигационных космических аппаратов. Задача решается на основе модели движения навигационных космических аппаратов с использованием топологических параметров рельефа местности, местных предметов и растительного покрова. Способ и результаты оценки доступности средств спутниковой навигации, могут использоваться при прогнозировании и прокладке маршрутов движения для наземных подвижных объектов специального назначения в условиях ограниченной видимости навигационных космических аппаратов.*

*доступность спутниковой радионавигационной системы, спутниковая радионавигационная система, навигационная аппаратура потребителя, точность местоположения, топологические параметры.*

Особенностью наземных подвижных объектов (НПО) специального назначения является их передвижение в сложных физико-географических условиях (лес, горы, строения и т.п.), что снижает доступность спутниковой радионавигационной системы (СРНС) [1]. Поэтому движение НПО в условиях ограниченной видимости может привести к ухудшению точно-

сти определения местоположения (МП) НПО, а в некоторых случаях невозможности навигационного обслуживания потребителя. Поэтому важным вопросом является оценка доступности навигационного обслуживания средств спутниковой навигации в условиях ограниченной видимости навигационных космических аппаратов (НКА) для НПО. Под доступностью понимается способность глобальной навигационной спутниковой системы обеспечивать проведение навигационных определений с заданными параметрами точности МП НПО [2].

Основными характеристиками для определения доступности в сложных физико-географических условиях являются угол маски, угол видимости НКА, угол шарового сектора видимых НКА, угол наблюдения и др. На рис. 1 приведена геометрическая интерпретация этих параметров. Здесь  $\beta_m$  – угол маски (минимальный угол видимости НКА, ограниченный  $5^\circ \dots 10^\circ$ );  $\beta_{\text{НКА}1}(t)$ ,  $\beta_{\text{НКА}2}(t)$  – угол видимости НКА 1 и НКА 2 соответственно (изменяются во времени для конкретного НКА);  $\gamma$  – угол шарового сектора видимых НКА;  $\beta_{\text{НКА}2} < \beta_m < \beta_{\text{НКА}1}$ , НКА 1 используется, НКА 2 не используется для навигационно-временных определений. На открытой местности ( $H_{\text{л}} = 0$ ) угол  $\beta_m = 0^\circ$  для любых углов наблюдения. Для обеспечения требуемого качества навигационного обслуживания  $\beta_m = 5^\circ \dots 10^\circ$  [3].

Навигационные космические аппараты, находящиеся по отношению к НПО под углами  $\beta_{\text{НКА}} < \beta_m$  не принимают участие в навигационных определениях. В этом случае зона наблюдения НПО по отношению к НКА представляет собой шаровой сектор видимых НКА, вершина которого расположена в центре масс навигационной антенны НПО (см. рис. 1).

Видимость ограничивается препятствиями на пути распространения радионавигационного сигнала. Степень влияния рельефа будем оценивать по минимальному углу маски НКА  $\beta_m$  при котором еще обеспечивается прием радионавигационных сигналов с НКА [4].

На величину доступности влияет ограничение видимости НКА. Для оценки доступности введем некоторые топологические параметры ( $H_{\text{л}}$  – высота леса,  $R_{\text{л}}$  – расстояние от НПО до края леса,  $\beta_m$  – угол мас-

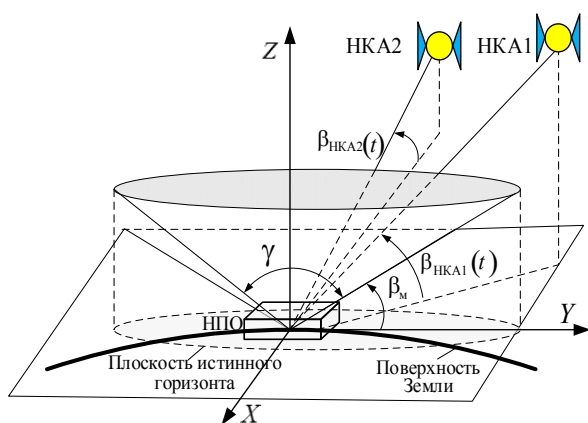


Рис. 1. Зона видимости НКА

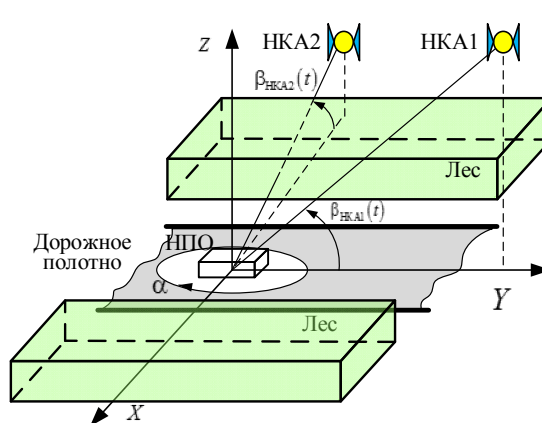


Рис. 2. Топологические параметры

ки,  $\alpha$  – угол наблюдения, отсчитываемый по часовой стрелке между продольной осью дороги и проекцией возможного направления НПО – НКА), от которых зависит точность определения МП (см. рис. 2). Введенные допущения показывают, что минимальное значение  $\beta_M$  наблюдается вдоль дорожного полотна, т. е. при  $\alpha = 0^\circ, 180^\circ$ , это является наилучшим случаем. По мере разворота угла наблюдения  $\alpha$  (изменяется  $0^\circ \dots 360^\circ$ ), наблюдается два максимальных значения для угла  $\beta_M$  (при  $\alpha = 90^\circ, 270^\circ$ ).

При такой топологии можно применить формулу для угла маски:

$$\beta_M = \left| \arctg \left( \frac{H_L}{R_L} \cdot \sin \alpha \right) \right|. \quad (1)$$

Используя выражение (1) рассмотрим зависимость углов  $\alpha$  и  $\beta_M$  от варьируемого параметра  $R_L$ , при фиксированной высоте леса  $H_L$  (рис. 3). Здесь в качестве исходных данных возьмем  $R_L = 1, 2, 3, 10, 100$  м,  $H_L = 25$  м. Угол  $\beta_M$  принимает достаточно большие значения  $\beta_M = 70^\circ \dots 90^\circ$  на довольно большой протяженности изменения угла  $\alpha$ . Данный факт позволяет заключить, что зона видимости НПО по отношению к НКА будет существенно уменьшаться, а, следовательно, будет уменьшаться и количество используемых спутников.

Оценим средние значения кругового обзора ( $\alpha = 0^\circ \dots 360^\circ$ ) в зависимости от  $\bar{\beta}_M$  и  $R_L$  различных типов леса  $H_L$ , по формуле:

$$\bar{\beta}_M(R_L) = \frac{\sum_{n=1}^M \beta_M(\alpha_n, R_L)}{M}, \quad (2)$$

где  $n$  – дискретность значений  $\alpha$ ;  $M = 360$ .

На рис. 4 приведены результаты расчета по (2). Определим угол  $\bar{\beta}_M$  для конкретного типа леса Ленинградской области. Леса в области занимают 55,5 % площади территории, средняя высота деревьев 25 метров.

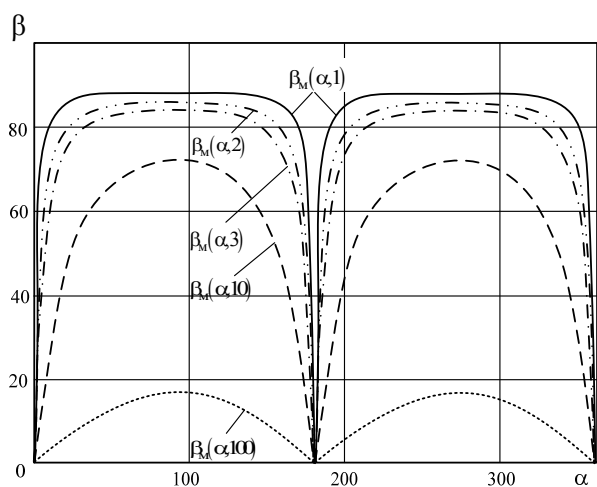


Рис. 3. График зависимости  $\beta_M$  от  $\alpha$

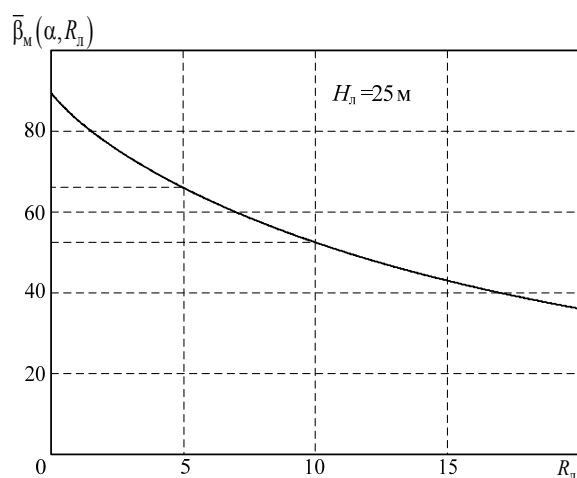


Рис. 4. График зависимости  $\bar{\beta}_M$  от  $R_L$

Здесь наблюдается нелинейная зависимость  $\bar{\beta}_m(R_l)$ . В первом приближении (2) для различных типов лесного покрова  $H_l$  весьма полезна в целях определения размеров зоны обзора НПО в зависимости от топологических особенностей местности ( $H_l, R_l$ ). Так при  $H_l = 25$  м рассмотрим для топологии  $R_{л1} = 10$  м и  $R_{л2} = 5$  м. Имеем  $\bar{\beta}_m(R_{л1}) = 53^\circ$  и  $\bar{\beta}_m(R_{л2}) = 67^\circ$ . Делаем вывод, что при  $R_{л2} = 5$  м зона видимости НПО – НКА представляет собой более вытянутый шаровой сектор, чем при  $R_{л1} = 10$  м. Это приведет к тому, что во второй топологии местности при решении задачи навигационного определения МП НПО участие примет меньшее количество НКА, чем в первой топологии. Это негативно скажется на качестве навигационного обслуживания НПО, в частности, ухудшение точностных характеристик навигационных определений. За меру точности навигационного обслуживания принимают среднюю квадратическую погрешность (СКП) определения МП потребителя СРНС ( $\sigma_{мп}$ ) [1, 3]:

$$\sigma_{мп} = \sigma_{рнп} \cdot K_r,$$

где  $\sigma_{рнп}$  – СКП определения радионавигационных параметров (РНП) навигационных сигналов в навигационной аппаратуре потребителя (НАП) (погрешность первичной обработки радионавигационных сигналов в НАП);  $K_r$  – СКП пересчета РНП в оценки координат потребителя СРНС (погрешность вторичной обработки радионавигационных сигналов в НАП).

Геометрический фактор состоит из различных составляющих: пространственно-временной –  $GDOP$ , пространственный –  $PDOP$ , временной –  $TDOP$ , горизонтальный –  $HDOP$ , вертикальный –  $VDOP$ .

Проанализируем зависимости  $\bar{N}_{НКА}$  и  $\overline{PDOP}$  от  $\beta_m$ . Для этого воспользуемся результатами имитационного моделирования орбитального движения НКА (СРНС ГЛОНАСС).  $\bar{N}_{НКА}$  – среднее количество спутников СРНС, наблюдаемых (используемых) НПО на определенном временном интервале,  $\beta_m$  – угол маски. Исходные данные для моделирования:  $N_{НКА \text{ ГЛОНАСС}} = 24$ , интервал наблюдения 24 часа, дискретность наблюдения 5 минут, точка наблюдения  $B = 59^\circ 55' 56,7''$  с. ш.,  $L = 30^\circ 24' 25,9''$  в. д.,  $H_l = 50$  м,  $\bar{\beta}_m = 5^\circ \dots 34^\circ$ . Результаты представлены на рис. 5 (для  $\bar{N}_{НКА}(\beta_m)$ ) и на рис. 6 (для  $\overline{PDOP}(\beta_m)$ ).

Максимальное количество видимых НКА ( $N_{НКА \text{ ср}}$ ) будет наблюдаться при минимальном  $\beta_m = 5^\circ \dots 10^\circ$ . По мере увеличения угла маски  $\beta_m$  будем наблюдать линейную зависимость в уменьшении среднего количества видимых (используемых) НКА.

Приемлемое значение  $PDOP$  ограничено 10, это ограничение продиктовано требованием по  $\sigma_{мп}$ . На графике мы наблюдаем следующую закономерность: при увеличении угла маски  $\beta_m$  от  $5^\circ$  до  $20^\circ$  фиксируется срав-

нительно низкая скорость роста значения  $\overline{PDOP}$  при значении  $\beta_M = 20^\circ$   $\overline{PDOP} = 1,5$ . Увеличение  $\beta_M$  от  $20^\circ$  до  $27^\circ$  приводит к сравнительному увеличению скорости роста значений  $\overline{PDOP}$ . При  $\beta_M = 23^\circ$   $\overline{PDOP} = 10$ , что является предельным значением при ограничении требований по  $\sigma_{МП}$ .

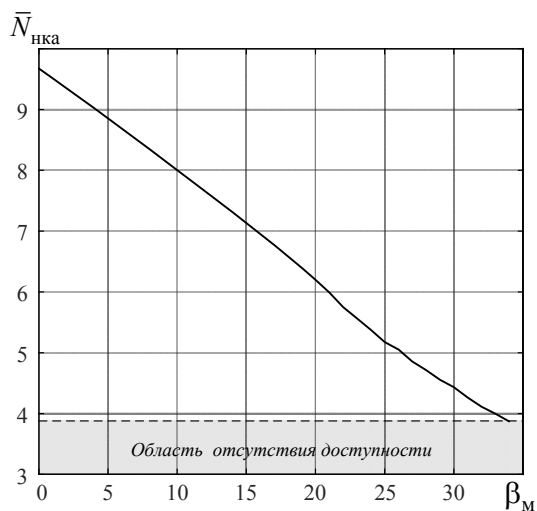


Рис. 5. График зависимости среднего количества используемых спутников от угла маски

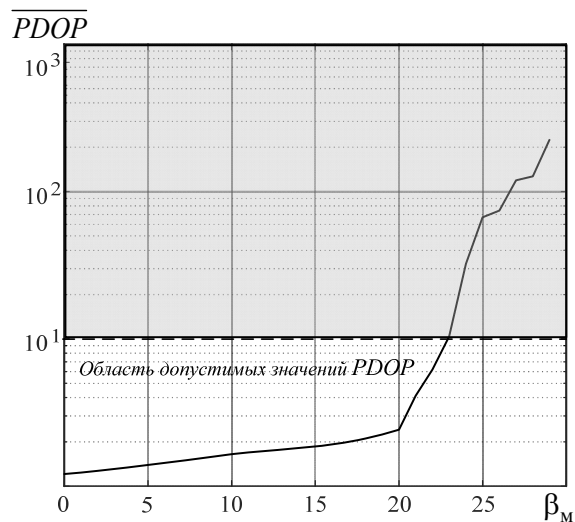


Рис. 6. График зависимости пространственного геометрического фактора от угла маски

Таким образом, с помощью графиков на рис. 4 и рис. 6 можно провести экспресс-оценку доступности средств спутниковой навигации в условиях ограниченной видимости НКА. Следует отметить, что эта оценка будет носить относительный характер, так как значения угла маски и пространственного геометрического фактора являются усредненными.

### Заключение

Предложенный способ и результаты оценки доступности средств спутниковой навигации, могут использоваться при прогнозировании и прокладке маршрутов движения для НПО специального назначения и других навигационно-связных задач в условиях ограниченной видимости навигационных космических аппаратов [4, 5]. Это позволит: повысить качество построения маршрутов для одиночных и групповых НПО; увеличить общий уровень безопасности; улучшить степень выполнения поставленных задач в сложных физико-географических условиях. Однако для этого необходима цифровая карта с точными параметрами леса, либо модель описания физико-географических условий местности.

### Список используемых источников

1. Снежко В. К., Якушенко С. А. Военные интегрированные системы навигации, связи и управления: учебник для вузов связи. СПб: ВАС, 2015. 452 с.

2. Национальный стандарт Российской Федерации Система спутниковая навигационная глобальная ГОСТ Р 52928 – 2010 9 С 2.

3. ГЛОНАСС. Принципы построения и функционирования / Под ред. А. И. Перова, В. Н. Харисова. Изд. 4-е, перераб. и доп. М.: Радиотехника, 2010. 800 с. С. 61–64, 272–274, 300–304.

4. Якушенко С. А., Малышев А. К., Маняшин Д. А., Карманова Н. А. Многопараметрический поиск оптимальных маршрутов движения подвижных объектов в условиях дестабилизирующих факторов // Информация и космос. 2016. N 4. С.144–151.

5. Якушенко С. А., Сазонов М. А. Информационно-расчетные задачи навигационно-связных комплексов специального назначения // Успехи современной радиоэлектроники. 2015. N 1. С. 37–40.

## УДК 654.01

# СТРАТЕГИИ УПРАВЛЕНИЯ ЗАПАСАМИ СПЕЦИАЛЬНЫХ СРЕДСТВ СВЯЗИ

**А. Н. Дробяскин, А. А. Марченков, А. Н. Музыкантов**

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича

*Важнейшим фактором в достижении высокой боевой готовности частей и устойчивости функционирования системы связи является своевременное и полное обеспечение войск специальными средствами связи. Для своевременного удовлетворения штатных потребностей войск организуется и осуществляется снабжение (укомплектование) войск специальными средствами связи. Классификация стратегий управления запасами.*

*общие организационные вопросы в области связи (организация и эксплуатация), система снабжения, управление запасами теория, стратегии управления запасами.*

Важнейшим фактором в достижении высокой боевой готовности частей и устойчивости функционирования системы связи является своевременное и полное обеспечение войск специальными средствами связи. Для своевременного удовлетворения штатных потребностей войск организуется и осуществляется снабжение (укомплектование) войск специальными средствами связи [1].

Для определения задач снабжения войск специальными средствами связи первоначально путем расчетов или прогнозирования должны быть определены потребности войск в обеспечении (дообеспечении) специальными средствами связи. Это, в свою очередь, требует сбора и соответствующей обработки заявок воинских частей, а также использования информации об их организационно-штатной структуре, состоянии техники



и особенностях ее эксплуатации. Анализ потребности позволяет сформировать заказ специальных средств связи в промышленности, который составляется ежегодно в рамках государственного оборонного заказа.

По мере поступления заказанного имущества необходимо решать задачу распределения поставок специальных средств связи между различными органами обеспечения. Задача эта связана с ограниченностью объемов поставок, которые, как правило, не покрывают в полном объеме потребности войск.

Следовательно, требуется учитывать конкретные условия и приоритеты в реализации поставок тем или иным потребителям. При этом кроме непосредственно распределения предметов снабжения между потребителями, должны осуществляться планирование перевозок, выдача и доставка специальных средств связи в соответствии с принятой схемой снабжения.

В качестве еще одной достаточно значимой задачи, решаемой при функционировании системы снабжения, необходимо указать задачу создания, размещения, освежения и пополнения запасов специальных средств связи. Возникновение этой задачи обусловлено противоречием между ограниченностью возможностей предприятий промышленности по производству специальных средств связи и требованием быстрого наращивания технической оснащенности войск при выполнении боевых задач.

Наконец, необходимо учесть то обстоятельство что, с одной стороны, рассматриваемые предметы снабжения представляют собой весьма значительные материальные ценности, а с другой стороны, реализация описанных функций требует наличия и использования оперативной и достоверной информации о наличии, движении и качественном состоянии специальных средств связи. В силу этого актуальной является задача ведения учета и представление соответствующей отчетности, касающейся решения ранее изложенных задач снабжения.

Качественное выполнение всех рассмотренных задач представляет собой достаточно сложную проблему, при решении которой требуется получить ответы на целый ряд взаимосвязанных вопросов. Из каких элементов должна состоять система снабжения? Как они должны взаимодействовать между собой, а также с поставщиками и потребителями? Сколько и каких предметов снабжения (запасов) необходимо иметь на каждом элементе для своевременного удовлетворения спроса потребителей? Ответы на эти и другие вопросы могут быть получены с использованием методов количественного анализа и синтеза, которые составляют предмет теории управления запасами.

Теория управления запасами относится к числу достаточно «молодых» отраслей теории исследования операций, хотя отдельные результаты ее получены еще в конце XIX в. Активное развитие теории управления запасами началось с середины XX в. При этом известные из публикаций сведения о результатах использования данной теории, в том числе в военной

сфере, свидетельствуют о высокой экономической эффективности мер по оптимизации запасов.

В общем случае управление запасами заключается в установлении объемов запасов и моментов восполнения и распределения их нижестоящим звеньям системы снабжения.

Совокупность правил, по которым принимаются эти решения, обычно называют стратегией управления запасами.

Стратегии управления запасами делятся на простые и сложные. Сложные стратегии, как правило, являются комбинациями простых. Известны два типа простых стратегий управления запасами: периодические и по уровню.

При *периодической* стратегии управления запасами (рис. 1) задается определенный фиксированный интервал между моментами посылок заявок на пополнение запасов  $T_n$ .



Рис. 1. Изменение уровня текущего запаса при периодической стратегии пополнения

Объем заявки  $Y$  определяется как разность некоторого расчетного уровня  $v_p$  и наличного запаса в момент подачи заявки  $v_n$ , т. е.  $Y = v_p - v_n$ .

При стратегии управления запасами *по уровню* заявка на пополнение подается в момент, когда наличие запаса снижается до определенной величины  $V_{\min}$ . (рис. 2). Например, заявка подается в момент, когда наличный запас снизился до половины расчетного объема или в момент, когда наличный запас стал равен нулю. При использовании данной стратегии может быть не один, а несколько уровней подачи заявок.

Указанные простые стратегии имеют свои преимущества и недостатки. Стратегия пополнения по уровню более оперативна, но требует постоянного контроля за уровнем текущего запаса.

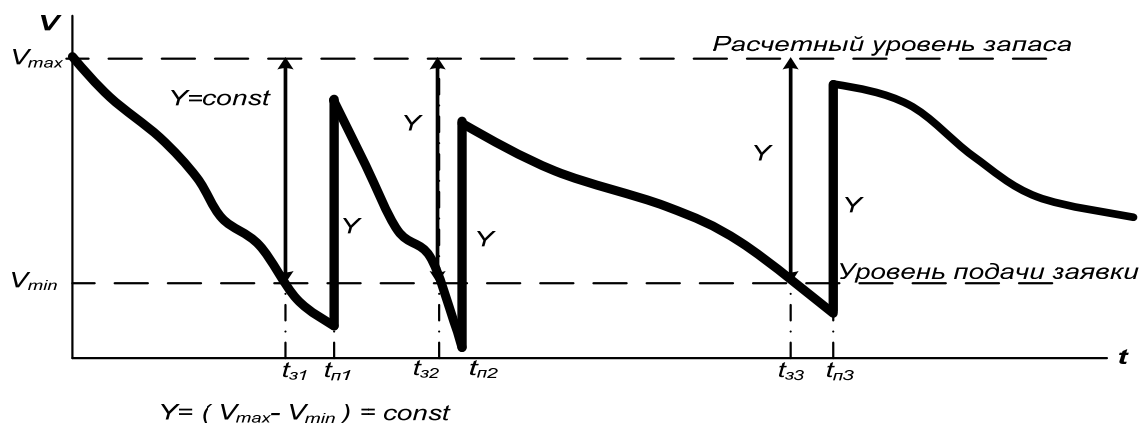


Рис. 2. Изменение уровня текущего запаса при стратегии пополнения по уровню

Периодическая стратегия более инерционна, но при этом достаточно лишь периодического контроля за уровнем запаса.

При непрерывной стратегии управления запасами объем запаса может снизиться только на один элемент. Следовательно, при непрерывном пополнении заявка посылается всякий раз, когда из соответствующего уровня (склада, базы) выдан один элемент. Заявка посылается также и в том случае, когда обнаружен отказавший элемент в запасе. Данная стратегия управления запасами позволяет иметь систему снабжения, всегда готовую к обеспечению техники связи и АСУ. Примером реализации такой стратегии является отправка в ремонт отказавшего восстанавливаемого блока и поставка вместо него исправного из состава ремонтного фонда агрегатов.

В системе управления запасами с прогнозированием спроса момент подачи заявки и ее объем определяются на основе наблюдений за спросом элементов определенного типа по заданной методике (рис. 3).

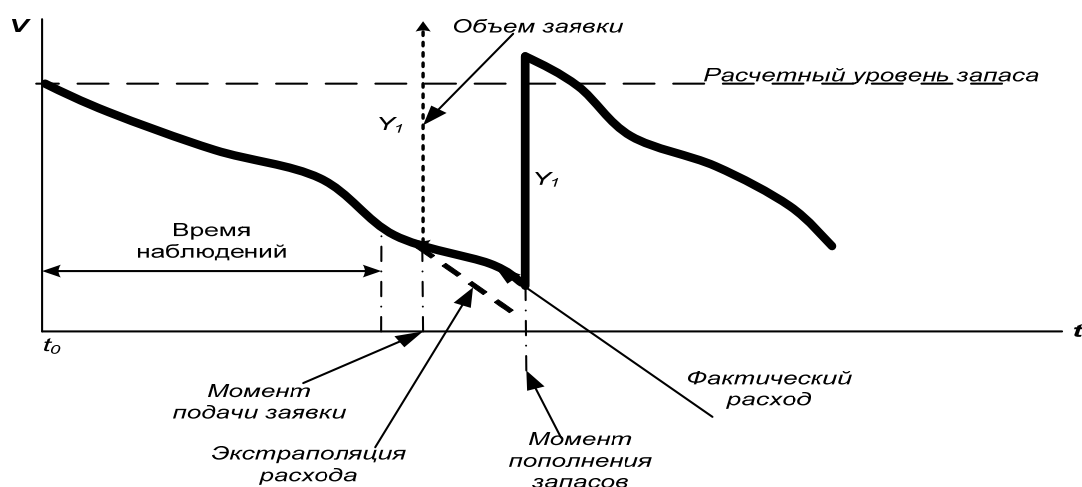


Рис. 3. Реализация стратегии пополнения с прогнозированием спроса

При осуществлении стратегии управления запасами с прогнозированием спроса может применяться принцип периодической посылки заявки. В этом случае определяется только объем заявки. Также может быть применен и принцип фиксированного объема заявки, тогда подлежит прогнозированию лишь момент подачи заявки. В отличие от предыдущих стратегий управления запасами при прогнозировании спроса в отдельные моменты времени наличный объем запасов может превышать начальный (расчетный) уровень, однако нет недостатков, присущих ранее рассмотренным стратегиям.

При стратегии управления запасами со смешанным пополнением применяются различные алгоритмы подачи заявок на разных уровнях. Обычно такие системы имеют непрерывное пополнение запасов первого уровня и периодическое пополнение запасов высших уровней.

Стратегия управления запасами с изменяющейся дисциплиной подачи заявок в зависимости от объема наличного запаса характеризуется адаптивностью к конкретным условиям функционирования. Так, например, при осуществлении стратегии управления запасами с периодическим пополнением при малом объеме запасов может осуществляться переход на непрерывное пополнение.

#### **Список используемых источников**

1. Гирш В. А., Баринов М. А., Захаров А. А., Марченков А. А., Музыкантов А. Н., Чихачев А. В., Штеренберг И. Г. Техническое обеспечение связи и автоматизации: учебник. СПб.: СПбГУТ, 2011. 475 с.

**УДК 654.01**

## **ЭКСПЛУАТАЦИЯ ТЕХНИКИ КАК СТАДИЯ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА СПЕЦИАЛЬНОГО СРЕДСТВА СВЯЗИ**

**А. Н. Дробяскин, А. А. Марченков, А. Н. Музыкантов**

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича

*Эксплуатация техники специальных средств связи – стадия жизненного цикла техники связи с момента принятия ее частью от завода-изготовителя или ремонтного предприятия до списания или отправки в заводской ремонт, являющаяся совокупностью ввода в эксплуатацию, приведения в установленную степень готовности к использованию по назначению, поддержания в установленной степени готовности к этому использованию, использования по назначению, хранения и транспортирования.*

*общие организационные вопросы в области связи (организация и эксплуатация).*

Когда говорят об эксплуатации технических устройств, в том числе образцов специальных средств связи, обычно имеют в виду непосредственное использование их в каких-либо практических целях для достижения полезного эффекта (например, предоставления услуг связи или решения информационно-вычислительных задач). Однако такое понимание отражает скорее целевую направленность эксплуатации, сущность же этого понятия значительно шире. Действительно, специальные средства связи с момента их поступления и до списания, помимо многократного применения для обеспечения связей или решения задач, может использоваться на учебных занятиях, храниться на складах, находиться в готовности к использованию по назначению, подвергаться техническому обслуживанию, ремонту либо контролю технического состояния – все это также относится к эксплуатации [1].

Для того чтобы уяснить содержание понятия «эксплуатация», попробуем взглянуть на него с позиций такого понятия, как «качество». Как известно, *качество* любой продукции – это совокупность свойств, обуславливающих ее пригодность удовлетворять определенные потребности в соответствии с назначением. Понятие качества является комплексным и применительно к технике связи и АСУ определяется двумя группами характеристик.

К первой группе относят характеристики функционального назначения (ХФН), набор которых специфичен для каждого типа специальных средств связи. Так, для средств радиосвязи важнейшими ХФН являются чувствительность приемника, частотный диапазон, мощность излучения передатчика и т. д., для средств вычислительной техники – объем оперативной памяти, быстродействие, количество типов интерфейсов и т. п. ХФН определяют по сути потенциальную «полезность» ТС и АСУ при использовании их по назначению.

Характеристики функционального назначения образца специальных средств связи напрямую зависят от его технического состояния, которое подвержено изменениям с течением времени. Причинами этих изменений могут быть отказы оборудования, влияние условий внешней среды (например, перепады напряжения электропитания, попадание влаги на контакты и т. п.), ошибки личного состава и другие.

Охарактеризовать возможные изменения ХФН во времени можно с помощью второй группы характеристик качества – эксплуатационно-технических (ЭТХ), важнейшими из которых являются надежность, живучесть и стойкость к внешним воздействующим факторам (ВВФ).

Для того чтобы качество образца техники соответствовало предъявляемым к нему требованиям, необходимо решить ряд взаимосвязанных друг с другом задач, а именно:

- задать обоснованные требования к уровню качества;
- осуществить реализацию этих требований в виде проекта – совокупности схемно-конструктивных решений;
- воплотить проектные решения путем промышленного изготовления образца техники;
- обеспечить сохранение характеристик аппаратуры с течением времени с целью получения полезного эффекта от ее использования по назначению.

Указанные задачи являются однотипными для всех технических объектов и объединяются понятием жизненного цикла. Таким образом, *жизненный цикл* конкретного образца техники представляет собой совокупность взаимосвязанных процессов последовательного изменения его состояния от начала исследования и обоснования разработки до окончания эксплуатации изделия.

Поскольку полный жизненный цикл любого технического объекта является достаточно протяженным и разнородным с точки зрения происходящих с ним процессов, его разделяют на стадии. Под *стадией жизненного цикла* понимают его часть, характеризующуюся определенным состоянием объекта конкретного типа, совокупностью предусмотренных этой стадией работ и их конечными результатами.

Типовой жизненный цикл техники специальных средств связи включает в себя следующие стадии (рис. 1.): исследование и обоснование разработки, разработку, производство, эксплуатацию, капитальный ремонт. Конкретный вариант жизненного цикла может отличаться от типового.

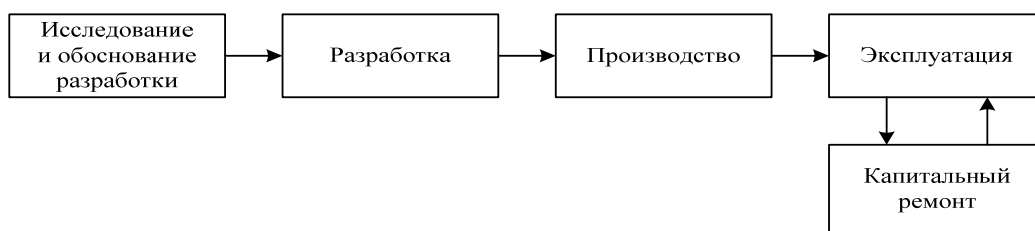


Рис. 1. Стадии жизненного цикла техники специальных средств связи

Так, стадии «Исследование и обоснование разработки» и «Разработка» имеют место только для вновь создаваемого или модернизируемого образца техники. Стадия «капитальный ремонт» применима только для ремонтируемых образцов техники специальных средств связи.

Целевая направленность стадий жизненного цикла техники специальных средств связи с точки зрения качества может быть сформулирована следующим образом:

1. Стадия «исследование и обоснование разработки» направлена на обоснование требуемых характеристик качества техники специальных средств связи и включает работы по формированию требований к образцам

техники, изысканию принципов и путей их создания (модернизации), а также обоснованию возможности и целесообразности последующей разработки.

2. На стадии «разработка» осуществляется комплекс мероприятий по созданию опытных образцов и технической документации, необходимой для организации промышленного производства техники специальных средств связи. На этой стадии закладывается требуемый уровень качества образца техники специальных средств связи.

3. Стадия «производство» представляет собой организацию и осуществление промышленного изготовления техники специальных средств связи. Результатом работ на стадии «производство» является выпуск изделий и поставка их заказчику. Эта стадия призвана воплотить в реальность на уровне серийных образцов техники уровень качества, заложенный в процессе проектирования.

4. Стадия «эксплуатация» является наиболее значимой для инженеров-специалистов связи. Результатом работ на стадии «эксплуатация» является экономический или иной эффект от использования изделия по назначению. На этой стадии реализуется, поддерживается и восстанавливается качество изделия.

5. Стадия «капитальный ремонт» (только для капитально ремонтируемых изделий) характеризуется специфическими особенностями ремонтного производства, направленными на близкое к полному восстановление ресурса (а, следовательно, и утраченного качества) техники. Терминологически, под *капитальным ремонтом* понимается ремонт, осуществляемый в целях восстановления исправности и полного (или близкого к полному восстановлению) израсходованного ресурса изделий с заменой или восстановлением любых составных частей.

Капитальный ремонт, как стадия жизненного цикла, включает:

- опытно-конструкторские разработки;
- постановку на ремонтное производство;
- серийное ремонтное производство;
- поставку из ремонта;
- снятие изделий с ремонтного производства.

Как отмечалось выше, стадия «эксплуатация» является наиболее значимой для инженеров-специалистов связи, поэтому рассмотрим подробнее содержание данной стадии жизненного цикла.

*Эксплуатация техники специальных средств связи* – стадия жизненного цикла техники специальных средств связи с момента принятия ее частью от завода-изготовителя или ремонтного предприятия до списания или отправки в заводской ремонт, являющаяся совокупностью ввода в эксплуатацию, приведения в установленную степень готовности к использованию по назначению, поддержания в установленной степени готовности

к этому использованию, использования по назначению, хранения и транспортирования.

Из данного определения можно сделать несколько выводов.

Во-первых, продолжительность эксплуатации определяется от момента принятия образца техники специальных средств связи частью от завода-изготовителя или ремонтного предприятия до списания или отправки в капитальный ремонт.

Во-вторых, при эксплуатации имеют место следующие процессы изменения состояния образцов техники специальных средств связи:

приемка (ввод) в эксплуатацию образцов техники, поступивших после изготовления или ремонта;

приведение образцов техники в установленную степень готовности к применению по назначению, обеспечивающую перевод в состояние для последующих действий;

поддержание образцов техники в установленной степени готовности к применению по назначению в течение установленных сроков;

применение образцов техники по назначению в соответствии с их функциональным назначением;

хранение образцов техники в заданном состоянии и обеспечение сохранности в течение установленных сроков;

перевозка или перемещение образцов техники с использованием транспортных средств.

Перечисленные процессы определяют виды и содержание работ при эксплуатации (рис. 2).

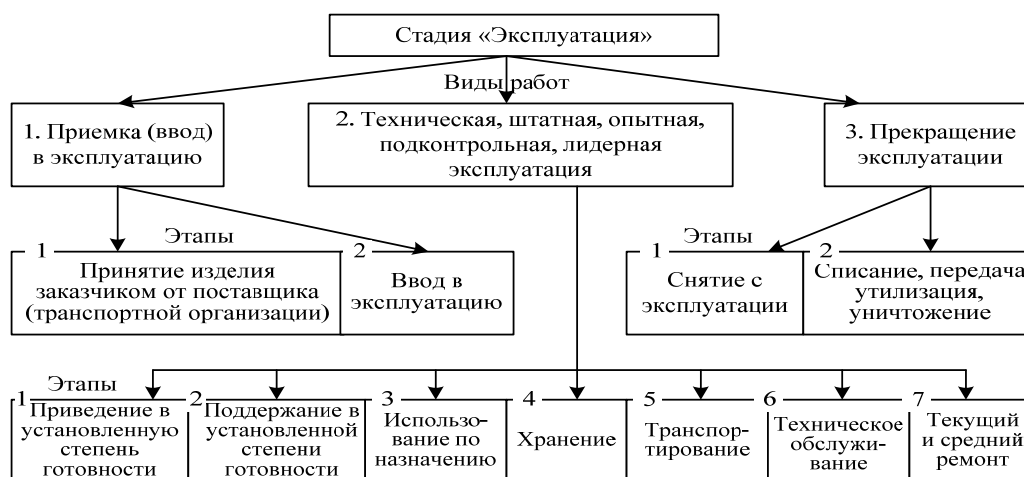


Рис. 2. Содержание стадии «Эксплуатация»

Виды эксплуатации определяются следующим образом.

*Штатная эксплуатация* – эксплуатация техники специальных средств связи массового производства в соответствии с требованиями действующей эксплуатационной документации. Как видно из определения,



данный вид эксплуатации является основным и наиболее распространенным в практике деятельности войск связи.

*Опытная эксплуатация* – эксплуатация заданного числа образцов техники специальных средств связи, осуществляемая по специальной программе в целях совершенствования системы эксплуатации по результатам учета реальных условий эксплуатации, контроля в этих условиях технических характеристик изделий и методов их применения, а также приобретения опыта освоения эксплуатации.

*Подконтрольная эксплуатация* – штатная эксплуатация заданного числа образцов техники специальных средств связи в соответствии с действующей эксплуатационной документацией, сопровождающаяся дополнительным контролем и учетом их технического состояния в целях получения более достоверной информации об изменении качества в условиях эксплуатации.

*Лидерная эксплуатация* – штатная эксплуатация заданного числа образцов техники специальных средств связи, выделенных для более интенсивного расходования ресурса по сравнению с остальными изделиями в целях получения опережающей информации о влиянии наработки или срока эксплуатации на их техническое состояние и определение возможности и условий установления новых значений показателей долговечности для однотипных изделий.

Таким образом, перечисленные виды эксплуатации имеют специфическую направленность на получение информации о качестве образцов техники специальных средств связи в целях его последующего улучшения.

Отдельно выделим *техническую эксплуатацию*, которая определяется как часть эксплуатации техники специальных средств связи, включающая комплекс работ, выполняемых на этапах использования по назначению, хранения, транспортирования, приведения в установленную степень готовности к использованию по назначению и поддержания в этой степени готовности.

В соответствии с данным определением применительно к технике специальных средств связи эксплуатация может быть представлена двумя самостоятельными взаимообусловленными направлениями: первое – использование по назначению; второе – проведение комплекса работ по поддержанию изделия в установленном техническом состоянии, переводу его из одного этапа эксплуатации в другой, по отправке в заводской ремонт и т. д. Второе направление эксплуатации и определяется термином «техническая эксплуатация».

#### **Список используемых источников**

1. Гирш В. А., Баринов М. А., Захаров А. А., Марченков А. А., Музыкантов А. Н., Чихачев А. В., Штеренберг И. Г. Техническое обеспечение связи и автоматизации: учебник. СПб.: СПбГУТ, 2011. 475 с.

УДК 621.396.43

## ПОРОГОВЫЙ ХАРАКТЕР ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ РАДИОРЕЛЕЙНЫХ ЛИНИЙ С ВРЕМЕННЫМ РАЗДЕЛЕНИЕМ КАНАЛЬНЫХ ИМПУЛЬСОВ И ФАЗОИМПУЛЬСНОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ

А. Н. Дробякин, А. Н. Музыкантов

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

*Всем радиорелейным системам специальной связи с временным разделением каналов, применяемым в настоящее время, в которых используются нелинейные методы модуляции, присущ пороговый эффект. В данной статье рассмотрен пороговый характер помехоустойчивости радиорелейных линий с временным разделением канальных импульсов и фазоимпульсной модуляцией.*

*пороговый эффект, сигнал, пороговая мощность, импульс.*

Системам связи, в которых используются нелинейные методы модуляции, присущ пороговый эффект. В радиорелейных линиях (РРЛ) с временным разделением канальных импульсов и фазоимпульсной модуляцией (ВРКИ-ФИМ-АМ) (ЧМ) момент прихода информационного импульса определяется как момент перехода его огибающей через некоторый пороговый уровень, который обычно выбирается равным половине амплитуды импульсного сигнала. При наличии помех происходит искажение огибающей принимаемого импульса, смещающее момент пересечения порога. Чем круче фронт импульса, тем меньше паразитное смещение, вызванное помехой. При большом уровне помех отдельные их выбросы превышают пороговый уровень и вызывают ложные срабатывания оконечных устройств в промежутках между информационными канальными импульсами. Если пиковое значение помехи достигает или несколько превышает порог, вероятность ложных срабатываний резко увеличивается, прием полезного сигнала становится практически невозможным. Вследствие этого сигнал на выходе канала тональной частоты (ТЧ) больше не определяется мощностью сигнала на входе приемника. В этом случае считают, что система достигла порога помехоустойчивости, при котором слабый сигнал подавляется сильной помехой.

Величина средней пороговой мощности на входе приемника с ФИМ-АМ определяется следующим образом:

$$(p_{\text{ош}}^{\text{ср}}) = p_{\text{ош}}^{\text{кк}} / \log_2 m,$$

где  $P_{\text{и пор}}$  – импульсная пороговая мощность;  $\varepsilon$  – коэффициент заполнения, составляющий  $\varepsilon = 1/\eta$ ;  $\eta = T_i/\tau_0$  – скважность.

Анализ показывает, что импульсная пороговая мощность определяется выражением:

$$P_{\text{и пор}} = 1,55 \cdot 10^{-19} n_{\text{ш}} / \tau_0,$$

тогда,

$$P_{\text{ср.пор.ам}} = \frac{1,55 \cdot 10^{-19} n_{\text{ш}}}{T_i} = 1,55 \cdot 10^{-19} n_{\text{ш}} F_i.$$

Средняя пороговая мощность на входе приемника многоканальной РРЛ с ВРКИ-ФИМ-АМ:

$$P_{\text{ср.пор.ам}} = 1,55 \cdot 10^{-19} n_{\text{ш}} F_i N_k.$$

В РРЛ с ВРКИ-ФИМ-ЧМ пороговая мощность определяется выражением:

$$P_{\text{ср.пор.чм}} = n_{\text{ш}} kT \Delta f_{\text{пр}} \left( 4 + 4,761 \lg \frac{\Delta f_{\text{прм}}}{2\Delta F_{\text{вф}}} \right),$$

$$\Delta F_{\text{вф}} = \frac{0,5}{\tau_0},$$

где  $\Delta f_{\text{прм}}$ ,  $\Delta F_{\text{вф}}$  – полосы пропускания приемника и видеофильтра соответственно.

Для РРЛ с ВРК-ФИМ-ЧМ свойственен не только порог ФИМ, при достижении которого в оконечных устройствах прослушиваются щелчки и трески, но и порог ЧМ, при достижении которого изменяются как структура, так и интенсивность спектрального состава шумов и заметно уменьшается шумовая защищенность каналов ТЧ (рис.). В связи с этим необходимо работать в надпороговой области значений мощности входного сигнала.

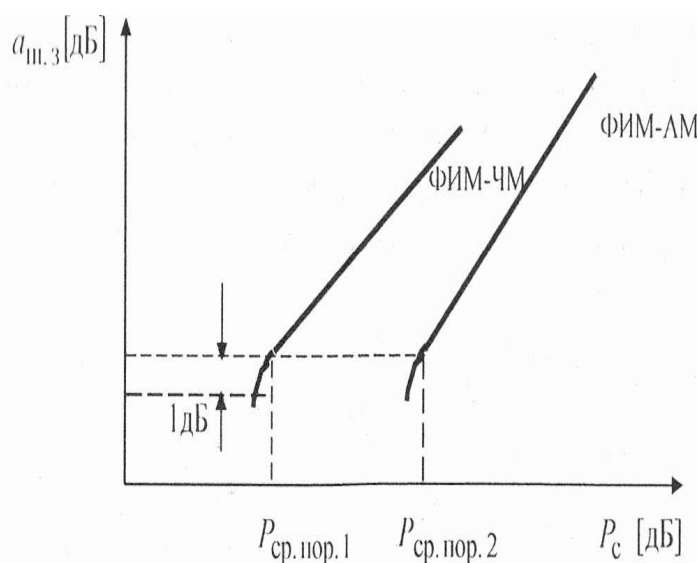


Рисунок. Пороговый эффект в системах с ВРКИ

## Список используемых источников

1. Лубянников А. А., Дробяскин А. Н., Хухлаев С. В., Гордийчук Р. В., Мальцева О. Л., Александров В. А. Теоретические основы радиорелейной связи специального назначения : учеб. пособие. Ч. 2., СПбГУТ. СПб., 2013. 104 с.

УДК 621.396.4

## АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ АТМОСФЕРНЫХ ОПТИЧЕСКИХ ЛИНИЙ ДЛЯ РЕЗЕРВИРОВАНИЯ ПОЛЕВЫХ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ЛИНЕЙНЫХ ТРАКТОВ

К. В. Дунаев<sup>1</sup>, Д. А. Журавлёв<sup>1</sup>, Д. С. Самаркин<sup>2</sup>, А. С. Соколов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Военная академия связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

*В динамике функционирования полевой транспортной сети связи, построенной на основе волоконно-оптических систем передачи, часть линий связи может быть выведена из строя. Возникает задача по оперативному восстановлению направлений связи между корреспондирующими узлами. Такая задача может быть решена путем применения атмосферных оптических систем передачи. Однако, ввиду специфики принципов передачи сигналов в данной системе, необходимо учитывать ряд явлений, и в первую очередь – потери на поглощение в атмосфере в зависимости от климатических условий. В статье представлен расчет энергетического потенциала атмосферной оптической линии связи в различных погодных условиях для анализа возможности ее применения для резервирования волоконно-оптических линий на сети связи.*

*атмосферная оптическая система передачи, волоконно-оптический линейный тракт, энергетический потенциал, атмосферные осадки.*

В динамике функционирования полевой транспортной сети связи, построенной на основе волоконно-оптических систем передачи, часть линий связи может быть выведена из строя. Возникает задача по оперативному восстановлению направлений связи между корреспондирующими узлами. Такая задача может быть решена путем применения атмосферных оптических систем передачи (АОСП). Однако, ввиду специфики принципов передачи сигналов в АОСП, необходимо учитывать ряд явлений, и в первую очередь – потери на поглощение в атмосфере в зависимости от климатических условий. В данной статье рассмотрена задача использования АОСП для восстановления связи полевой сети в Северо-западном регионе РФ.

При расчёте атмосферных оптических линий (FSO) связи необходимо учитывать несколько явлений: потери на поглощение и турбулентность

атмосферы, климатические условия и местные эффекты, протяженность и неточность установки линии. Все эти явления влияют на ключевой параметр – энергетический потенциал линии  $M_l$ , который представляет собой доступную мощность, превышающую чувствительность приемника. Расчет энергетического потенциала осуществляется по формуле:

$$M_l = P_e - S_r - A_g - A_a - A_{sc},$$

где  $P_e$  (дБм) – общая мощность излучателя;  $S_r$  (дБм) – чувствительность приемника;  $A_g$  (дБ) – геометрическое ослабление линии из-за рассеивания передаваемого луча с увеличением расстояния,  $A_a$  (дБ) – ослабление в атмосфере из-за поглощения и рассеивания,  $A_{sc}$  (дБ) – ослабление из-за турбулентности атмосферы [1].

Геометрическое ослабление вычисляется по формуле:

$$A_g = 10 \log_{10} \left( \frac{S_d}{S_c} \right),$$

где  $S_c$  – поверхность захвата приемника ( $m^2$ ),  $S_d$  – площадь поверхности луча передачи на расстояние  $d$ , которая аппроксимируется формулой  $S_d = \frac{\pi}{4} (d \cdot \theta)^2$ , где  $\theta$  – угол расхождения луча (мрад),  $d$  – расстояние между излучателем и приемником (км).

Ослабления в атмосфере из-за поглощения и рассеивания  $A_a$  вызваны погодными условиями, и, в частности местным климатом в окрестностях выбранной трассы линии (снег, дождь, изморось, туман и т. д.). Исходя из этого  $A_a$  можно представить как

$$A_a = \gamma_{clear\_air} \cdot d \text{ или } \gamma_{fog} \cdot d \text{ или } \gamma_{rain} \cdot d \text{ или } \gamma_{snow} \cdot d,$$

где  $\gamma_{clear\_air}$  – ослабления в условиях чистого воздуха,  $\gamma_{fog}$  – ослабление в тумане,  $\gamma_{rain}$  – ослабление в дожде;  $\gamma_{snow}$  – ослабление в снеге. Данные ослабления учитываются для характерных времен года.

Расчет энергетического потенциала линии осуществим для различных времен года, учитывая при этом характерное ослабление.

Ослабления в условиях чистого воздуха незначительны, при необходимости вычисляются по исходным данным указанным в [2] и в данной статье не учитываются.

Ослабление в тумане вычисляется как:

$$\gamma_{fog}(\lambda) = \frac{3,91}{V} \left( \frac{\lambda}{550 \text{ нм}} \right)^{-q} \text{ [дБ / км]},$$

где  $V$  – видимость (км),  $\lambda$  – длина волны (нм),  $q$  – коэффициент, зависящий от распределения размеров рассеивающих частиц, его значения определены в [1].

Ослабление в дожде определяются соотношением  $\gamma_{rain} = k \cdot R^a$  [дБ / км], где  $R^a$  – значения интенсивности дождя (мм/ч), превышаемые в течении любого данного процента времени, либо это ослабление определяется согласно данных приведенных в [3].

Ослабление в снеге описывается соотношением  $\gamma_{snow} = a \cdot S^b$  [дБ / км], где  $S^b$  – интенсивность снегопада (мм/ч) и  $a$  и  $b$  функции от длины волны [1].

Ослабление из-за турбулентности атмосферы (атмосферное мерцание) выражается соотношением  $A_{sc} = 23,17 \cdot k^{7/6} \cdot C_n^2 \cdot L^{11/6}$ , где  $k = \frac{2\pi}{\lambda}$  ( $m^{-1}$ ) номер волны,  $L$  (м) – протяженность линии связи,  $C_n^2$  ( $m^{-2/3}$ ).

Расчеты осуществлены для аппаратуры атмосферной оптической линии передачи данных ARTOLINK модели M1-GE-L, которую возможно использовать в качестве аппаратуры резервирования участка волоконно-оптической линии связи на дистанции 4400 м [4].

При расчете энергетического потенциала линии при использовании аппаратуры в зимний период в первую очередь будем учитывать ослабления для наилучшего варианта в мокром снеге.

Тогда  $\gamma_{snow} = 0,000102 \cdot 1550 + 3,79 \cdot 0,125^{1,38}$  [дБ / км], где  $S$  взято согласно статистики по осадкам за 2016 г. по Санкт-Петербургу и Ленинградской области [5]. Бюджет линии  $M_l = 44 - 14 - 16,67 - 11,346 = 1,984$  дБ.

При расчете энергетического потенциала линии в условиях тумана показатель ослабления рассчитан при следующих показателях видимости:  $V = 5, 4, 3, 2$  и  $1$  км и  $500$  м. Тогда при длине  $4,4$  км для соответствующих показателей видимости  $\gamma_{fog} = 1,219$  дБ,  $1,641$  дБ,  $2,394$  дБ,  $4,008$  дБ,  $9,385$  дБ и  $21,274$  дБ. Энергетический потенциал линии при видимости:

- 5 км составляет 17,435 дБ;
- 4 км составляет 17,013 дБ;
- 3 км составляет 16,26 дБ;
- 2 км составляет 14,646 дБ;
- 1 км составляет 9,269 дБ;
- 500 м составляет –2,62 дБ.

Зависимость ослабления энергетического потенциала линии в условиях тумана от видимости представлено на рис. 1а.

При расчете бюджета линии в условиях дождя показатель ослабления рассчитан при следующих показателях значения интенсивности дождя 3, 5

и 8 мм/ч. Для северо-западного региона среднее значение значения интенсивности дождя равно 3 мм/ч [5].

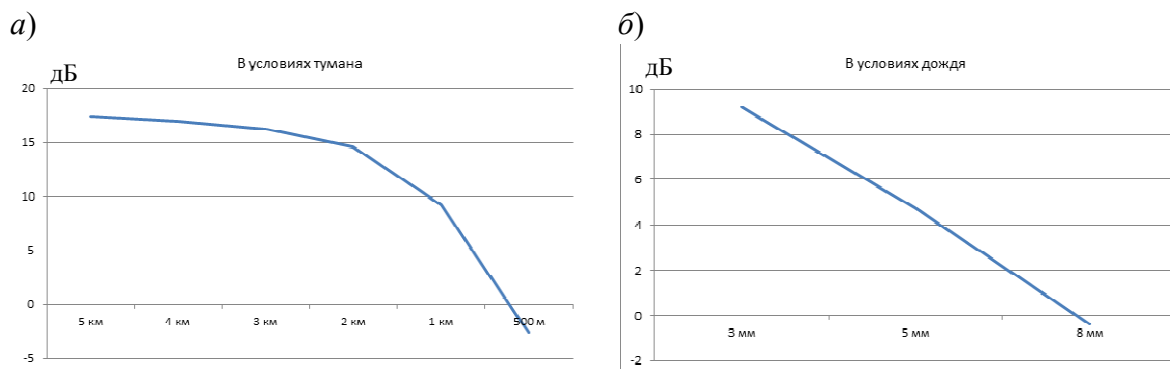


Рис. 1. Зависимость ослабления энергетического потенциала линии:  
а) в условиях тумана; б) в условиях дождя

Энергетический потенциал линии при интенсивности дождя:

3 мм/ч составляет 9,215 дБ;

5 мм/ч составляет 4,737 дБ;

8 мм/ч составляет –0,416 дБ;

Зависимость ослабления энергетического потенциала линии в условиях дождя от интенсивности дождя представлено на рис. 1б.

Таким образом, атмосферную оптическую линию связи можно использовать в качестве линии резервирования в Северо-западном регионе в условиях выпадения различных осадков:

в условиях мокрого снега дальность связи составляет 4,4 км;

в условиях тумана требуемая дальность связи будет обеспечиваться только при видимости в 700 м (рис. 1а);

в условиях дождя требуемая дальность связи будет обеспечиваться при интенсивности дождя не более 7 мм/ч (рис. 1б).

#### Список используемых источников

1. Рекомендация МСЭ-R P.1814. Методы прогнозирования, требуемые для разработки наземных оптических линий для связи в свободном пространстве, 2007.

2. Рекомендация МСЭ-R P.1817. Данные о распространении радиоволн, требуемые для разработки наземных оптических линий для связи в свободном пространстве, 2007.

3. Рекомендация МСЭ-R P.837-6. Характеристики осадков, используемые при моделировании распространения радиоволн, 02/2012.

4. Аппаратура атмосферной оптической линии передачи данных ARTOLINK модель M1-GE-L. Руководство по эксплуатации.

5. Материалы сайта atlas-yakutia.ru Россия 2007–2016. Статистика по осадкам за 2016 год – Санкт-Петербург, Ленинградская область.

УДК 654.027

## АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ ОПТИЧЕСКИХ КОММУТАТОРОВ НА СЕТЯХ СВЯЗИ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

О. П. Жадан<sup>1</sup>, А. В. Д Малышко<sup>2</sup>, Д. В. Марченко<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Военная академия связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного

<sup>2</sup>Военный институт физической культуры Министерства обороны РФ

*В настоящее время перспективным направлением развития транспортных сетей связи является применение отечественных средств волоконно-оптической связи, которые позволят значительно повысить эффективность функционирования систем связи в различных условиях применения, такими основными устройствами оптической коммутации являются фотонные коммутаторы.*

*оптическая транспортная сеть, фотонные коммутаторы, основные параметры фотонных коммутаторов.*

В современных условиях устойчивое функционирование систем связи специального назначения достигается высокой готовностью и пропускной способностью линий связи. Анализ основных направлений развития транспортных сетей связи специального назначения показал, что в них не в полной мере учтены возможности при внедрении достижений в сфере новых оптических технологий и разработок. Кроме того, актуальными становятся вопросы безопасности и обеспечения сетей связи специального назначения услугами пропуска трафика посредством доверенной телекоммуникационной среды с заданным качеством в условиях мирного и военного времени, чрезвычайного и военного положения, в чрезвычайных ситуациях и в особый период.

В настоящее время перспективным направлением развития транспортных сетей связи является применение отечественных средств волоконно-оптической связи, которые позволят значительно повысить эффективность функционирования систем связи в различных условиях применения. Реализация выполнения требований, предъявляемых к системам связи специального назначения по высокой пропускной способности, информационной безопасности и устойчивости возможно с применением высокоскоростных устройств оптической коммутации потоков с целью реализации реконфигурации транспортной сети связи специального назначения за минимальное время в условиях высокой динамики изменения топологии сети вследствие внешнего воздействия.



Современные технологии фотонной коммутации основаны на использовании микроэлектронных механических систем (*Micro-Electro Mechanical Systems*, MEMS), электрооптических коммутаторов, устройств на основе нелинейных эффектов в оптических волокнах и полупроводниковых материалах и др. (рис.)

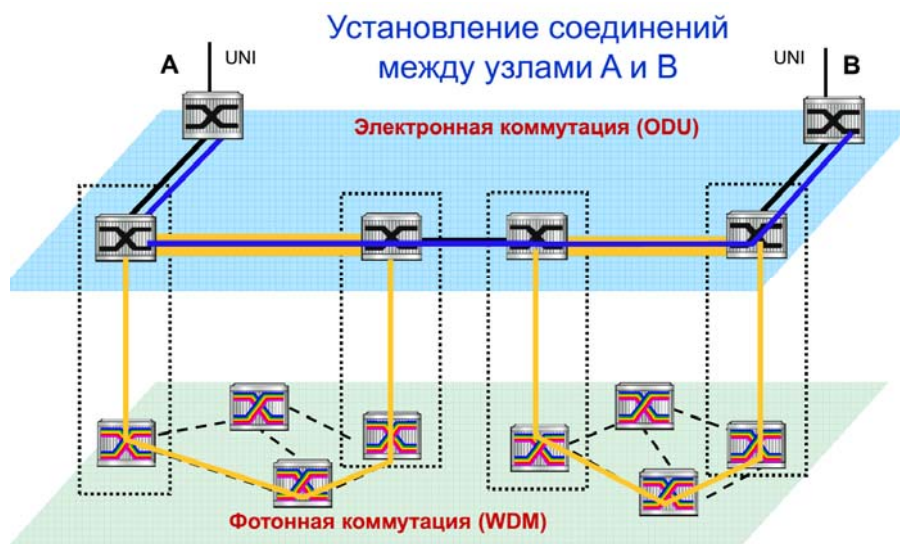


Рисунок. Вариант применения коммутации на фотонном и электронном уровнях в WDM/OTN сети

Основной задачей оптического коммутатора заключается в организации транзитов оптических каналов и используется на узлах связи в пунктах выделения спектральных каналов для увеличения пропускной способности и коэффициента полезного использования оптического волокна в транспортных сетях связи специального назначения.

Оптические коммутаторы могут выполнять несколько ключевых функций:

транспортировку оптического сигнала – коммутация из одного порта в другой всей полосы пропускания волоконно-оптического кабеля, полосы частот или отдельных волновых каналов. Кроме того, в оптических мультиплексорах ввода-вывода оптические коммутаторы используются для извлечения или добавления данных, передаваемых по определенным волновым каналам;

реализацию реконфигурации сети и восстановление оптического сигнала – возможность обхода сбойных компонентов или обрывов волоконно-оптических кабелей;

сетевое тестирование и управление оптическим сигналом – в испытательных приборах, например, в оптических рефлектометрах с разрешением по времени, коммутирующие элементы используются для проверки множества волоконно-оптических кабелей на удаленных узлах или для контроля активности трафика способом, не нарушающим его прохождения [1].

Оптический коммутатор может быть установлен на любом участке оптической сети специального назначения: транспортная сеть, сеть доступа, уровень агрегации, уровень ядра сети, и т. д.

В зависимости от технологии производства, классификацию оптических коммутаторов можно представить в следующем виде:

- механические оптические коммутаторы;
- электрооптические коммутаторы;
- акустооптические коммутаторы;
- термооптические коммутаторы;
- оптоэлектронные коммутаторы на основе полупроводниковых оптических усилителей;
- интегральные активно-волноводные коммутаторы;
- коммутаторы на многослойных световодных жидкокристаллических матрицах;
- коммутаторы на основе массива микрозеркал;
- голографические коммутаторы;
- коммутаторы на фотонных кристаллах.

Ключевыми параметрами, применяемыми при оценке и анализе технических и эксплуатационных характеристик коммутаторов, являются: размерность коммутационной матрицы, масштабируемость, структурируемость и скорость коммутации, а также вносимые потери.

*Размерность матрицы* – в современных условиях потенциальное число линий связи, подключенных к одному коммутационному устройству, может достигать тысяч и даже десятков тысяч. Поэтому количество портов, которые способен поддерживать коммутатор, является его важнейшей характеристикой. Некоторые современные оптические коммутаторы достигают конфигурации 4000x4000, однако для подавляющего большинства задач не требуется такой размерности. Поэтому основная масса коммутаторов рассчитана на гораздо меньшее количество портов, например, 16×16 или 64×64 порта.

*Масштабируемость* – для построения архитектуры или системы коммутации, для работы которых необходимо несколько десятков портов, применяют схемы Клоза и Бенеша. Если имеющаяся в настоящее время система коммутации построена на базе коммутационных элементов, имеющих малую размерность, например, 2×2, то при её масштабировании до большего количества портов, вызванном, например, увеличением числа потребителей услуг, коммутационное устройство придется дополнительно дооборудовать сложными управляющими элементами, что может привести к неоправданным расходам.

*Структурируемость* – при построении оптического коммутационного устройства особую важность приобретают вопросы, связанные с размерами портов и их согласованием. Число портов имеет значение не только

в случае использования оптических кросс-соединителей, но и при маршрутизации волновых каналов, когда ключевой характеристикой является число коммутируемых каналов, а не только число подключенных кабелей.

*Скорость коммутации* – в настоящее время считается вполне достаточным, если коммутация осуществляется в течение нескольких миллисекунд. Известные в настоящее время полностью оптические коммутаторы уверенно работают при скоростях 40–160 Gb/s. В то же время перспектива создания терабитных сетей требует переключения отдельных пакетов оптическими средствами с пикосекундными периодами коммутации.

*Потери* – в оптических коммутаторах присутствуют два основных вида потерь. Первые вносятся в месте сопряжения волоконно-оптических кабелей с коммутатором, а вторые определяются свойствами самого коммутационного элемента или коммутационной матрицы. Несмотря на устойчивую тенденцию к минимизации, потери в современных оптических коммутаторах могут составлять от 1–2 дБ до 4–5 дБ [2].

Кроме вышеупомянутых, немаловажными показателями эффективности коммутатора при его выборе могут также служить переходные и перекрестные искажения, вносимые в исходный оптический сигнал паразитными явлениями рефракции, дисперсии и интерференции. Немаловажными критериями, определяющими выбор типа коммутатора, являются также массогабаритные показатели, удельная стоимость, приходящаяся на один коммутируемый канал, а также надежность.

Одной из важнейших характеристик коммутаторов является характеристика блокирования. Этим термином обычно обозначается невозможность, по каким-либо причинам, обеспечить одновременное соединение между произвольно взятыми входным и выходным портами. В некоторых случаях, в зависимости от структуры коммутатора или быстродействия коммутирующего элемента, не удастся организовать некоторые межсоединения, и они оказываются заблокированными.

Матричные коммутаторы часто относят к числу перестраиваемых неблокирующих коммутаторов, но при этом задание непересекающегося пути следования оптического сигнала по коммутационной матрице не всегда просто осуществить. Вследствие этого, несмотря на сравнительную простоту аппаратной части, сложность управления остается довольно высокой. Неблокирующие коммутаторы с архитектурой Клоза позволяют избежать временного отключения существующих соединений лишь в том случае, когда для установления нового соединения использован правильный алгоритм переключения, а для осуществления сложных алгоритмов маршрутизации требуется дополнительное оборудование и соответствующее программное обеспечение. В коммутаторах Бенеша для установления новых соединений может быть выбран любой свободный маршрут, однако при этом резко возрастает стоимость оборудования в связи с увеличением общего количества коммутационных элементов.

В настоящее время существует несколько подходов по реализации оптической коммутации. Один из них заключается в полной замене существующих электронных коммутаторов их оптическими аналогами. Второй подход подразумевает постепенную замену по принципу «оптических островов», позволяя в последующем соединить их между собой. Каждый из подходов применения оптических коммутаторов имеет свои достоинства и недостатки, однако их применение направлено на реализацию задач по реконфигурации сети в условиях быстроменяющейся обстановки и, соответственно, на достижение способности системы связи специального назначения функционировать с заданным качеством в условиях преднамеренного воздействия.

В целях решения вопросов безопасности и обеспечения сетей связи специального назначения услугами пропуска трафика посредством доверенной телекоммуникационной среды с заданным качеством в условиях мирного и военного времени, чрезвычайного и военного положения, в чрезвычайных ситуациях и в особый период целесообразно применение фотонной маршрутизации и квантово-криптографической технологий.

#### Список используемых источников

1. Маккавеев В. Д. Фотонные коммутаторы // Компоненты и технологии. 2006. № 2. С. 142–146.
2. Гайворонская Г. С., Рябцов А. В. Особенности применения оптических коммутаторов в современных информационных сетях // Applicable Information Models. 2013. С. 169–180.

УДК 654.027

## АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ КВАНТОВЫХ МАРШРУТИЗАТОРОВ В ОПТИЧЕСКИХ ТРАНСПОРТНЫХ СЕТЯХ СВЯЗИ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

**О. П. Жадан, Д. В. Марченко**

Военная академия связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного

*В настоящее время в мире наблюдается расширение количества научных программ, посвященных развитию квантовых информационных технологий. Основные цели таких программ – достижение превосходства в области квантовой связи и квантовых вычислений – тесно связаны с областью квантовой криптографии.*

*оптическая транспортная сеть, квантовые маршрутизаторы.*

Традиционные подходы к построению информационной безопасности сетей специальной связи, основанные на использовании телекоммуникационных ресурсов сетей связи общего пользования с импортным активным сетевым оборудованием не в полной мере обеспечивают защиту сетей связи и систем управления от кибервоздействий при реализации информационных спецопераций, атак кибертеррористов и др. киберпреступлений.

Анализ показывает, что большинство угроз нацелено на топологические, информационно-технологические и др. характеристики сетей связи, при этом часть угроз может носить внутрисетевой, инсайдерский характер.

В этих условиях важной задачей является качественное и своевременное удовлетворение потребностей в телекоммуникационных ресурсах и сервисах сетей связи специального назначения на основе формирования устойчивого и безопасного транспортного телекоммуникационного базиса.

Таким образом, актуальными являются вопросы, связанные с применением квантово-криптографических технологий и фотонной маршрутизации в сетях связи специального назначения.

Фотонный маршрутизатор представляет собой квантовое устройство на единственном атоме, которое может направлять отдельные фотоны по одному из двух маршрутов (рис. 1).

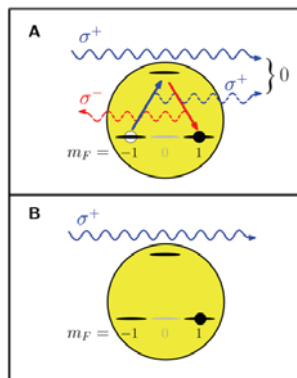


Рис. 1. Состояния фотонного маршрутизатора

Особенность функционирования заключается в центральном элементе маршрутизатора – атоме, принимающего одно из двух состояний, в зависимости от того, с какого направления отправить на него фотон по оптическому волокну. В свою очередь, принявший определённое состояние атом направляет следующий фотон по определённому маршруту. В одном состоянии маршрутизатор пропускает фотон справа по кабелю налево, в то время как фотон слева отражается обратно и меняет состояние маршрутизатора, а в другом состоянии наоборот:

фотон слева продолжает путь направо, а фотон справа отражается и меняет состояние маршрутизатора (рис. 2).

Управление маршрутизатором осуществляется исключительно отдельными фотонами, не требуется никакое дополнительное оборудование.

В некотором смысле работу устройства можно сравнить с электронным транзистором, который меняет состояние электрической цепи в зависимости от приложенного напряжения.

Создание такого устройства стало возможным благодаря комбинации двух современных технологий. Первая – лазерное охлаждение атомов, которая позволяет захватывать и контролировать их по отдельности, а вто-

рая – изготовление высококачественный миниатюрных оптических резонаторов, которые внедряются непосредственно в оптоволокно и формируют стоячую световую волну [1].

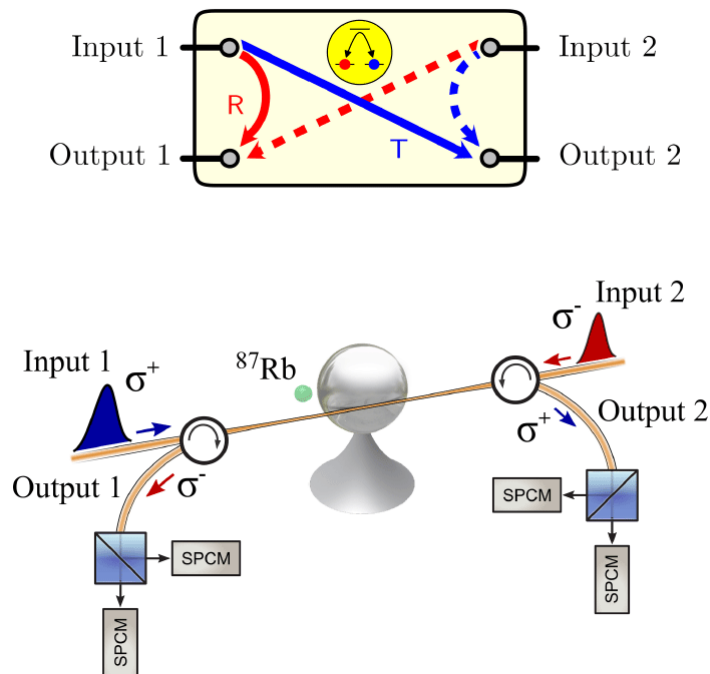


Рис. 2. Схема фотонного маршрутизатора

В зависимости от специфики и особенностей применения фотонных и оптических коммутаторов на сетях связи специального назначения, важным является направления развития фотонной криптографии.

Безусловная секретность ключей в квантовое распределение ключей (КРК) основана на двух фундаментальных запретах квантовой теории:

- невозможности копирования неизвестного квантового состояния;
- невозможности достоверного различения неортогональных квантовых состояний.

Другая квантово-криптографическая технология - квантовое шифрование (КШ), представляет собой развитие базовых идей КРК с целью более эффективного (по сравнению с КРК) и криптографически более стойкого (по сравнению с классическими шифраторами) решения задачи прямого шифрования данных в современных оптических телекоммуникациях (как волоконно-оптических, так и работающих в открытом пространстве).

В настоящее время в мире наблюдается расширение количества научных программ, посвященных развитию квантовых информационных технологий (КИТ). Основные цели таких программ – достижение превосходства в области квантовой связи и квантовых вычислений – тесно связаны с областью квантовой криптографии. С учетом изложенных выше прикладных аспектов, а также учитывая результаты многочисленных прово-

димых научных исследований и разработок, можно с достаточно высокой вероятностью предположить следующий сценарий развития направлений, имеющих непосредственное отношение к квантовой криптографии:

1. В среднесрочной перспективе получают развитие специализированные квантовые компьютеры, ориентированные на решение криптографических задач. Как уже указывалось выше, для решения практически значимых задач требуется создать регистр с числом кубитов, эффективно участвующих в вычислениях, до 1000. При этом использование в квантовой вычислительной системе кодов квантовой коррекции ошибок потребует существенного (примерно на порядок) увеличения числа «запасных» (используемых только для коррекции) кубитов. Поэтому для реализации 1000 эффективно используемых («логических») кубитов потребуется создание квантового регистра с существенно большим общим количеством кубитов. В более отдаленной перспективе возможно обеспечить сопряжение отдельных квантовых вычислительных систем в квантовую сеть.

2. Получит существенное развитие область квантовых коммуникаций:

– средства квантового распределения криптографических ключей будут обладать следующими характеристиками:

для волоконно-оптического канала связи: скорость выработки ключей – 10 Гбит/с при дальности до 200 км;

для атмосферного канала связи: скорость выработки ключей – 1 Гбит/с при дальности до 2 км;

– в среднесрочной перспективе могут быть созданы квантовые каналы связи, исключающие перехват информации третьей стороной, с дальностью передачи информации порядка 1000-3000 км в космическом пространстве и порядка 100 км в плотных слоях атмосферы со скоростью передачи информации до 100 Мбит/с. Интеграция в эти сети технологий квантового хеширования и квантовой цифровой подписи позволит выйти на новый уровень в безопасности информационных технологий с распределенной обработкой данных.

– в среднесрочной перспективе могут быть созданы каналы связи на основе квантовой телепортации, обеспечивающие передачу до  $10^7$  кубит (квантовых состояний) в секунду на расстояние порядка 1000 километров в космическом пространстве.

На базе каналов телепортации квантовых состояний в дальнейшем могут быть созданы квантовые сети, которые смогут использоваться как для передачи квантовой и классической информации, так и для организации распределенных квантовых вычислений. Один из возможных способов организации квантовых сетей – сети на основе квантовых повторителей (репитеров), ключевым элементом которых является квантовая память. Полноценные образцы квантовой памяти, как основы квантовых повторителей

телей, и образцы самих повторителей могут быть созданы в ближайшем десятилетии.

Квантовая сеть высокоточной синхронизации для защищенных систем управления может быть создана в будущем десятилетии и будет поддерживать глобальное покрытие околоземного космического пространства и иметь сеть из десяти узлов (опорных станций) по 1000 кубитов (атомов) в каждом, что обеспечит стабильность частоты до  $10^{-18}$ , т. е. в 100 раз лучше имеющихся классических аналогов. Заметим, что отдельные технологии, входящие в состав указанных направлений, такие, как квантовая генерация случайных чисел, могут иметь и уже имеют самостоятельное прикладное значение [2].

Из приведенного анализа квантово-криптографических технологий и фотонной маршрутизации следует, что их применение в оптических транспортных сетях связи специального назначения позволит обеспечить требуемые устойчивость и безопасность предоставляемых ресурсов сети связи спецпотребителям.

#### Список используемых источников

1. Title: All-Optical Routing of Single Photons by a One-Atom Switch Controlled by a Single Photon Authors: Itay Shomroni, Serge Rosenblum, Yulia Lovsky, Orel Bechler, Gabriel Guendelman, Barak Dayan // Journal-ref: Science 345. 2014. С. 903-906.

2. Корольков А. В. О некоторых прикладных аспектах квантовой криптографии в контексте развития квантовых вычислений и появления квантовых компьютеров // Вопросы кибербезопасности. 2015. N 2 (9). С. 6–13.

УДК 654.026

## ПОСТРОЕНИЕ ИНФОТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ В ОБЩЕЖИТИИ ФАКУЛЬТЕТА РАДИОСВЯЗИ ВОЕННОЙ АКАДЕМИИ СВЯЗИ ДЛЯ ДОСТУПА ЛИЧНОГО СОСТАВА К РЕСУРСАМ ЭЛЕКТРОННОЙ БИБЛИОТЕКИ

**А. С. Заманов, С. П. Кривцов, В. Ю. Позняк, В. А. Сафронов**

Военная академия связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного

*В работе рассмотрен порядок построения инфотелекоммуникационной сети в общежитии факультета радиосвязи Военной академии связи в симуляторе локальной сети Cisco packet tracer. В статье описан порядок построения имитационной мо-*



*дела, состав основного оборудования инфотелекоммуникационной сети, составлена таблица маршрутизации внутренних локальных сетей, и внешних телекоммуникационных связей для доступа личного состава к сайту факультета и электронной библиотеке Военной академии связи.*

*инфотелекоммуникационная сеть, симулятор локальной сети, таблица маршрутизации, локальная сеть, маршрутизатор, коммутатор 2 уровня, беспроводный доступ, электронная библиотека, сервер.*

Формирование единой электронной библиотеки Министерства обороны Российской Федерации должно завершиться к 1 сентября 2016 года. Библиотека будет иметь два контура – внешний и закрытый внутренний.

На первом этапе ее формирования планируется замкнуть в общий контур библиотеки всех 27 самостоятельных вузов Минобороны и 8 филиалов, на втором – подключить библиотеки научно-исследовательских институтов, а в перспективе подключить и все библиотеки воинских частей, таким образом, будет создан уникальный электронный библиотечный комплекс во всех форматах – с мультимедиа, 3D-форматом, инфографикой, видеокурсами, аудиокнигами и другими формами подачи учебного материала, при этом все учебники должны быть оцифрованы по единому для всех вузов стандарту, у каждого учащегося в начале учебного года должен быть весь курс в электронном виде, курсант должен иметь компьютер-планшет и электронную карту доступа. Вход в единую электронную библиотеку осуществляется по персональной карте военнослужащего [1].

В Военной академии связи, так же ведётся активная работа по созданию фонда электронных книг, но помимо его формирования необходимо спроектировать и построить инфотелекоммуникационные сети в общежитиях для доступа личного состава к ресурсам внешнего контура единой электронной библиотеки Министерства обороны Российской Федерации. Данная работа будет посвящена варианту построения инфотелекоммуникационной сети в общежитии факультета радиосвязи.

Инфотелекоммуникационная сети в общежитии факультета радиосвязи военной академии связи для доступа к ресурсам внешнего контура единой электронной библиотеки Министерства обороны Российской Федерации, а также к сайту факультета, должна строиться в здании общежития, данное здание имеет 12 этажей для проживания курсантов, как правило на одном этаже проживает один курс численностью от 50 до 150 человек.

Рассмотрим построение локальной сети курса (этажа).

Для расчёта локальной вычислительной сети с количеством абонентов до 150 человек применяется общепринятая методика расчёта сети отдела.

Сеть отдела – это локальная сеть, которая охватывает все помещения, принадлежащие отделу. Это могут быть несколько комнат или этаж здания. Главным назначением сети отдела является разделение локальных ре-

сурсов, таких как доступ к приложениям, данным, общим принтерам, а также добавление новых пользователей [2].

В нашем случае локальная сеть курса (этажа) будет включать:

- 2 маршрутизатора с возможностью работы по беспроводному доступу, которые должны находиться в левом и правом расположениях курса;
- стационарные автоматизированные рабочие места (АРМ) начальника курса (НК) и 2-х курсовых офицеров (КО);
- 2 сетевых принтера по одному в левой и правой частях этажа;
- абонентскую сеть для связи со стационарными АРМами и сетевыми принтерами;
- компьютеры-планшеты, работающие по беспроводному доступу;
- электронные карты доступа курсантов.

Таким образом, локальная сеть курса (этажа) будет иметь вид, представленный на рис. 1.

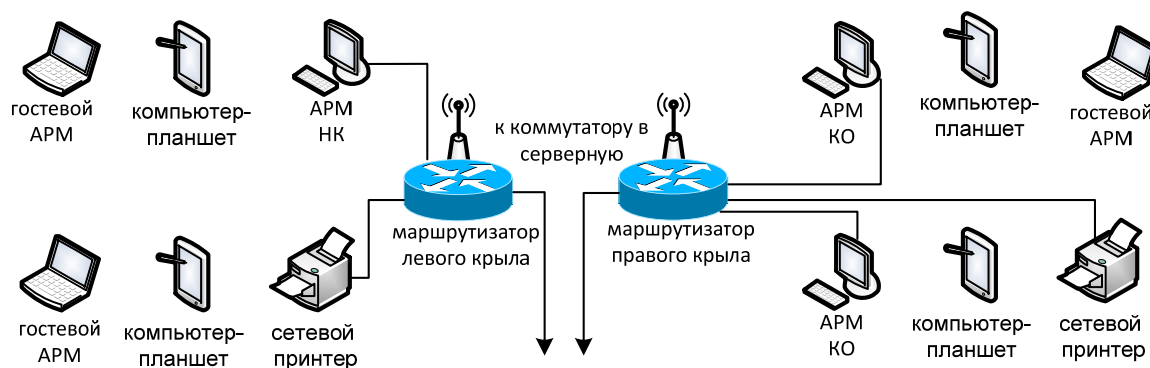


Рис. 1. Локальная сеть курса (этажа)

Согласно, предложенной схеме, необходимо построить инфотелекоммуникационную сеть в общежитии факультета, которая будет включать:

- 12 локальных сетей курса (этажа);
- серверную комнату, в которой находится коммутатор 2-го уровня с 24-я внутренними портами и 2-я внешними, маршрутизатор, АРМ управления сервера и сервер;
- локальную сеть для связи с маршрутизаторами локальных сетей курса (этажа).

Таким образом, инфотелекоммуникационная сеть в общежитии факультета будет иметь вид, представленный на рис. 2.

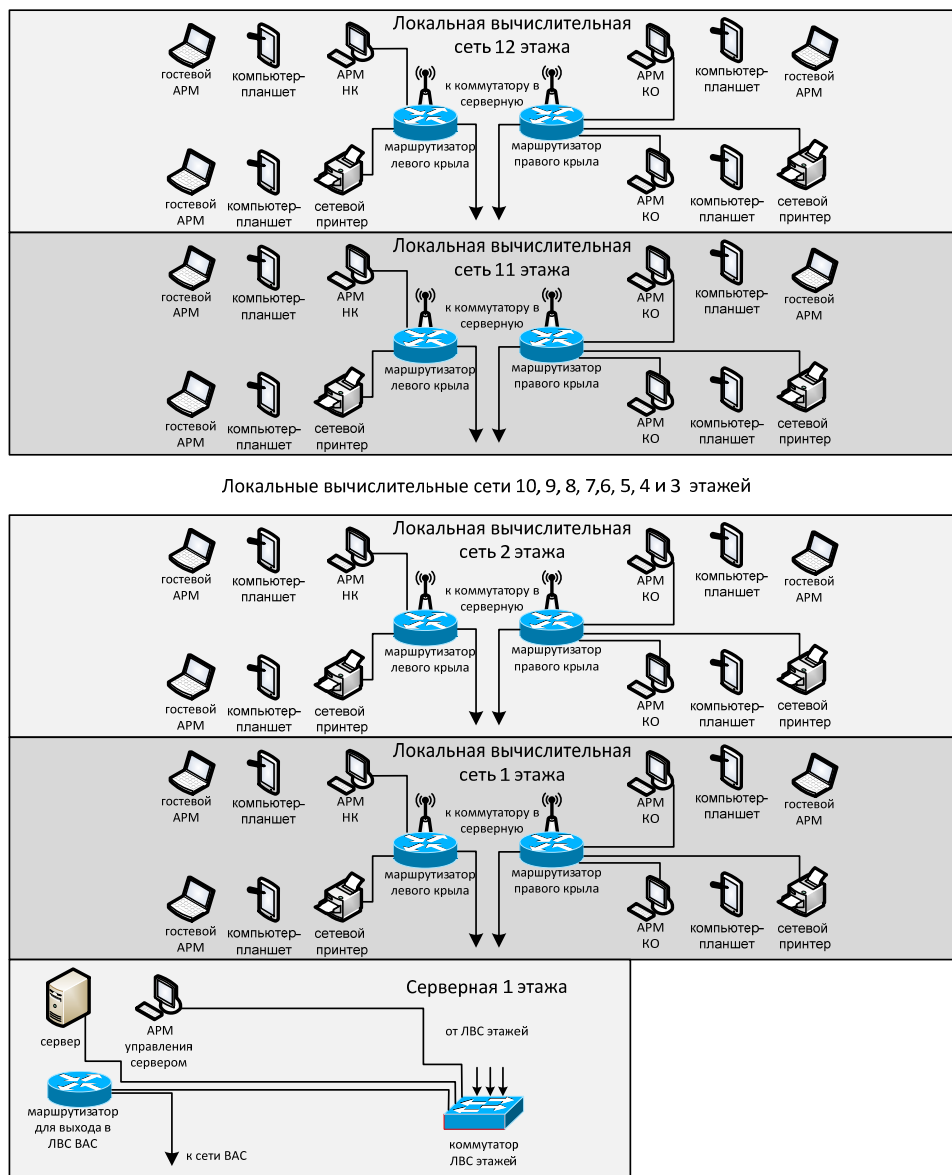


Рис. 2. Инфотелекоммуникационная сеть в общежитии факультета

Согласно, предложенной схеме, таблица маршрутизации инфотелекоммуникационной сети в общежитии факультета будет иметь следующий вид:

ТАБЛИЦА. Маршрутизация инфотелекоммуникационной сети

Этаж	Адреса внутренней сети маршрутизаторов		Адреса внешней сети маршрутизаторов	
	правого крыла	левого крыла	правого крыла	левого крыла
12	192.168.24.0/25	192.168.23.0/25	10.120.100.24	10.120.100.23
11	192.168.22.0/25	192.168.21.0/25	10.120.100.22	10.120.100.21
10	192.168.20.0/25	192.168.19.0/25	10.120.100.20	10.120.100.19
9	192.168.18.0/25	192.168.17.0/25	10.120.100.18	10.120.100.17

Этаж	Адреса внутренней сети маршрутизаторов		Адреса внешней сети маршрутизаторов	
	правого крыла	левого крыла	правого крыла	левого крыла
8	192.168.16.0/25	192.168.15.0/25	10.120.100.16	10.120.100.15
7	192.168.14.0/25	192.168.13.0/25	10.120.100.14	10.120.100.13
6	192.168.12.0/25	192.168.11.0/25	10.120.100.12	10.120.100.11
5	192.168.10.0/25	192.168.9.0/25	10.120.100.10	10.120.100.9
4	192.168.8.0/25	192.168.7.0/25	10.120.100.8	10.120.100.7
3	192.168.6.0/25	192.168.5.0/25	10.120.100.6	10.120.100.5
2	192.168.4.0/25	192.168.3.0/25	10.120.100.4	10.120.100.3
1	192.168.2.0/25	192.168.1.0/25	10.120.100.2	10.120.100.1

В серверной комнате все линии связи от маршрутизаторов на этажах подключаются к коммутатору в сети 10.120.100.0/27, а внешний порт коммутатора соединённый с маршрутизатором работает по сети 10.129.101.0/30. К маршрутизатору на порт GigaEthernet 0/0 подключается внешний порт коммутатора, а на порт GigaEthernet 0/1 подключается инфотелекоммуникационная сеть академии.

На основе схемы построения и таблицы маршрутизации, построена имитационная модель инфотелекоммуникационной сети в общежитии факультета радиосвязи Военной академии связи в симуляторе локальной сети Cisco packet tracer, которая будет иметь вид, представленный на рис. 3, для удобства восприятия изображены двенадцатый и первый этажи. Остальные этажи, так как схема типовая, на рисунке не отображены.

Данная модель позволяет:

- оценить возможность подключения устройств к сети;
- проверить правильность составления таблицы маршрутизации и адресного пространства сети;
- оценить нагрузку на сеть и возможность предоставления абонентам заявленных информационных услуг.

Описанные выше принципы построения легли в основу имитационной модели инфотелекоммуникационной сети в общежитии факультета радиосвязи Военной академии связи.

#### Список используемых источников

1. На Форуме «АРМИЯ-2016» ГУРИТТ МО РФ представит рабочий макет программно-аппаратного комплекса единой электронной библиотеки Минобороны России. URL: [http://function.mil.ru/news\\_page/country/more.htm?id=12083571@egNews](http://function.mil.ru/news_page/country/more.htm?id=12083571@egNews)
2. Олифер В. Г., Олифер Н. А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. 4-е изд. СПб.: Питер, 2012. С. 151–156.

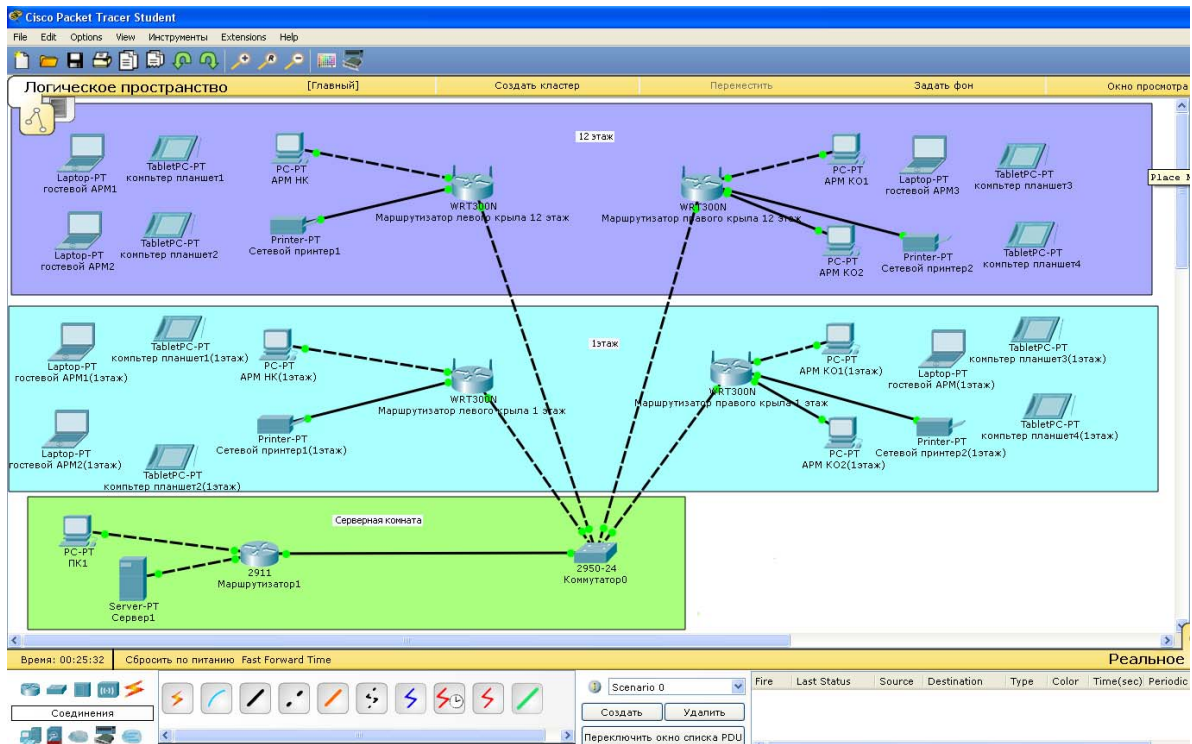


Рис. 3. Имитационная модель инфотелекоммуникационной сети в общежитии факультета радиосвязи Военной академии связи, построенная в симуляторе локальной сети Cisco packet tracer

*Статья представлена научным руководителем, доктором технических наук, профессором А. В. Мякотиным.*

УДК 654.026

## МОДЕЛЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ФАКТОРОВ ИНФОРМАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПО ЭЛЕМЕНТАМ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ

Д. А. Иванов, М. А. Коцыняк, О. С. Лаута, А. П. Нечепуренко

Военная академия связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного

*В современных условиях основой информационного противоборства является система информационного воздействия. В модели рассмотрен современный подход к прогнозированию распределения средств воздействия на информационно-телекоммуникационную сеть с учётом места элементов в сети, определение очередности воздействия на элементы информационно-телекоммуникационной сети, что, в свою очередь, позволит формировать исходные данные для принятия мер защиты элементов и сети в целом.*

информационно-телекоммуникационная сеть, информационное воздействие, информационное противоборство.

В условиях многофакторного воздействия затруднительно выбрать способы и средства защиты объектов. Для обоснования направлений защиты необходима оценка возможностей противника по воздействию на объекты. Для этого предлагается комплексная модель распределения факторов информационного воздействия по элементам информационно-телекоммуникационной сети (ИТКС).

*Модель предназначена* для определения наиболее опасных средств воздействия на каждый элемент ИТКС.

Решение задачи сводится к распределению средств воздействия по объектам поражения таким образом, чтобы воздействие на каждый объект в заданное время было максимальным.

Физическая постановка задачи. Возьмем сеть, которая содержит  $S$  элементов. Каждый  $i$ -й элемент характеризуется своими решаемыми задачами, т. е. важностью элемента ( $A_i$ ).

Решение задачи сводится к определению наиболее опасных средств воздействия с целью максимизации целевой функции и эффективной последовательности воздействия, т. е. прогнозирование нанесения значительного ущерба каждому элементу. Исходя из физической постановки задачи, требуется определить матрицу назначения средств воздействия и очередность средств воздействия.

Учитывая идею оптимального распределения разноэффективных средств воздействия и условий решения задачи, приемлемым методом решения является метод максимального элемента [1].

Требуется определить матрицу назначения средств воздействия  $X_0 = \|X_{vi}\|_{TS}$ , обеспечивающую максимальное значение целевой функции:

$$F(X^0) = \sum_{i=1}^S F_i(x_{vi}^0) = \max_X \sum_{i=1}^S A_i(\tau_{\text{возд}})(1 - E_{vi}^{x_{vi}})$$

при следующих условиях:  $\sum_{i=1}^S x_{vi} = 1; \nu = 1, \bar{T}; T \in S; 0 < A_i(\tau_{\text{возд}}) \leq 1$ , где

$$x_{vi} = \begin{cases} 1 - \text{если средство воздействия назначено,} \\ 0 - \text{в противном случае,} \end{cases}$$

$$0 \leq E_{vi} \leq 1,$$

где  $E_{vi} = 1 - P_{\text{возд } vi}$  – вероятность защиты  $i$ -го объекта от  $\nu$ -ого средства воздействия;  $S$  – количество объектов;  $T$  – количество средств воздействия;  $A_i(\tau_{\text{возд}})$  – динамический коэффициент важности каждого элемента.

*Пример решения.* В качестве примера возьмем ИТКС в состав которой входит 26 объектов (АРМ.ДЛ – 7; АРМ.П – 7; Сервер – 2; АРМ.Н – 5;

АРМ.ОБИ – 5). Значения вероятностей воздействия на объекты ИТКС представлены в таблице 1. Значения важности каждого элемента и результаты решения задачи представлены в таблице 2, жирным цветом показана максимальная вероятность воздействия на каждом шаге расчетов.

Таблица 1. Вероятность воздействия на объекты ИТКС

Тип воздействия	Техническая разведка (ТР)	Высокоточное оружие (ВТО)	Диверсионно-разведывательные группы (ДРГ)	Радиоподавление (РП)	Психологическое воздействие (ПВ)	Сетевые операции (СО)
Наименование элемента ИТКС						
Сервер	0,58	0,874	0,5	0,7	0,7	0,48
АРМ.Н	0,58	0,76	0,5	0,7	0,7	0,48
АРМ.ОБИ	0,58	0,76	0,5	0,7	0,7	0,48
АРМ.ДЛ	0,58	0,693	0,5	0,7	0,7	0,48
АРМ.П	0,58	0,693	0,5	0,7	0,7	0,48

Таблица 2– Исходные данные и результаты решения задачи.

Тип объекта	АРМ.ДЛ, АРМ.П						Сервер						АРМ.Н, АРМ.ОБИ					
	0,73						0,92						0,8					
Важность объекта	0,73						0,92						0,8					
Вид воздействия	ТР	ВТО	ДРГ	РП	ПВ	СО	ТР	ВТО	ДРГ	РП	ПВ	СО	ТР	ВТО	ДРГ	РП	ПВ	СО
Вероятность воздействия	0,58	0,693	0,5	0,7	0,7	0,48	0,58	0,874	0,5	0,7	0,7	0,48	0,58	0,76	0,5	0,7	0,7	0,48
<b>Результаты решения задачи</b>																		
1	0,423	0,505	0,365	0,511	0,511	0,35	0,533	0,804	0,46	0,644	0,644	0,441	0,464	0,608	0,4	0,56	0,56	0,384
2	0,423	0,505	0,365	0,511	0,511	0,35	0,533	0,043	0,46	0,644	0,644	0,441	0,464	0,608	0,4	0,56	0,56	0,384
3	0,423	0,505	0,365	0,511	0,511	0,35	0,533	0,043	0,46	0,041	0,041	0,441	0,464	0,608	0,4	0,56	0,56	0,384

В результате решения задачи были определены вероятности воздействия противника, а также очередность их воздействия на элементы.

Анализ полученных результатов показал, что для максимального нанесения ущерба первоначально противник будет воздействовать на сервер

средствами ВТО, затем применит РП и ПВ. После будет использовать средства ВТО, но уже для поражения АРМ.Н и АРМ.ОБИ, и т. д.

Необходимо отметить, что рассматриваемую задачу, исходя из характера действий системы поражения и принципов планирования, нужно решать для временных «сечений» по этапам функционирования системы управления. В этом случае после каждой смены этапа функционирования необходимо производить уточнение структуры и варианта защиты элементов, что позволит решать задачу оптимизации структуры системы защиты и ее параметров, т. е. реализовать адаптивную систему защиты.

Методы воздействия противника обладают вероятностно-временными характеристиками (ВВХ), определение которых позволит оценить степень их опасности, выбрать и реализовать меры защиты. Для исследования и определения ВВХ системы воздействия противника необходима разработка их модели.

С этой целью предлагается использовать профильные модели системы воздействия противника и метод топологического преобразования стохастических сетей (ТПСС) [2, 3, 4].

Учитывая результаты, полученные в таблице 2, профильная модель имеет следующий вид:

с вероятностью  $P_I$  осуществляется воздействие ВТО на элементы ИТКС за среднее время  $\bar{t}_A$  с функцией распределения  $B(t)$ .

с вероятностью  $P_{II}$  осуществляется воздействие средствами РП на элементы ИТКС за среднее время  $\bar{t}_B$  с функцией распределения  $N(t)$ .

с вероятностью  $P_{III}$  осуществляется ПВ на элементы ИТКС за среднее время  $\bar{t}_C$  с функцией распределения  $C(t)$ .

с вероятностью  $P_{IV}$  осуществляется ТР на элементы ИТКС за среднее время  $\bar{t}_D$  с функцией распределения  $P(t)$ ;

с вероятностью  $P_V$  осуществляется воздействие ДРГ на элементы ИТКС за среднее время  $\bar{t}_E$  с функцией распределения  $M(t)$ ;

с вероятностью  $P_{VI}$  осуществляется СО на элементы ИТКС за среднее время  $\bar{t}_F$  с функцией распределения  $L(t)$ .

С обратной вероятностью противник прекращает воздействие на каждом этапе, если вероятность выполнения этого этапа больше 0,9 за среднее время  $\bar{t}_{\text{повт}}$  с функцией распределения  $Z(t)$ .

Требуется определить интегральную функцию распределения вероятности  $F(t)$  и среднее время  $\bar{t}_B$  воздействия на ИТКС.

*Математическая модель.* Описанный выше процесс представим в виде стохастической сети (рис. 1)

Используя правила преобразования профильных моделей по правилам ТПСС [2, 3, 4], получены расчетные выражения для интегральной функции распределения вероятности и среднего времени реализации воздействия.



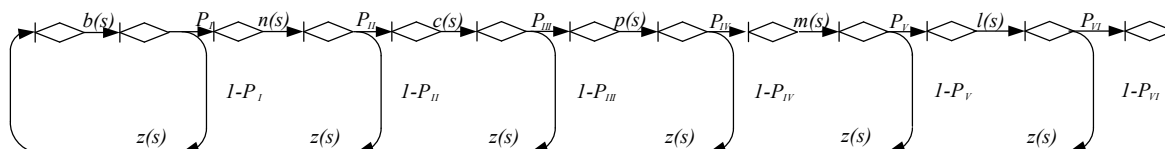


Рис. 1. Стохастическая сеть воздействия на ИТКС

$$F(t) = \sum_{k=1}^{10} \frac{bP_I n P_{II} c P_{III} p P_{IV} m P_V l P_{VI} (z + s_k)^6}{\phi'(s_k)} \frac{1 - \exp[-s_k t]}{s_k},$$

$$\bar{t}_B = \sum_{k=1}^{10} \frac{bP_I n P_{II} c P_{III} p P_{IV} m P_V l P_{VI} (z + s_k)^6}{\phi'(s_k)} \frac{1}{(-s_k)^2}.$$

Результаты расчетов ВВХ представлены на рис. 2. В качестве исходных данных используются следующие значения:

$$\bar{t}_A = 29 \text{ мин}; \quad \bar{t}_B = 29 \text{ мин}; \quad \bar{t}_C = 170 \text{ мин}; \quad \bar{t}_D = 14 \text{ мин};$$

$$\bar{t}_E = 120 \text{ мин}; \quad \bar{t}_F = 5 \text{ мин}; \quad \bar{t}_{\text{повт}} = 1 \text{ мин}.$$

$$P_I = 0,8; \quad P_{II} = 0,64; \quad P_{III} = 0,64; \quad P_{IV} = 0,53; \quad P_V = 0,36; \quad P_{VI} = 0,35.$$

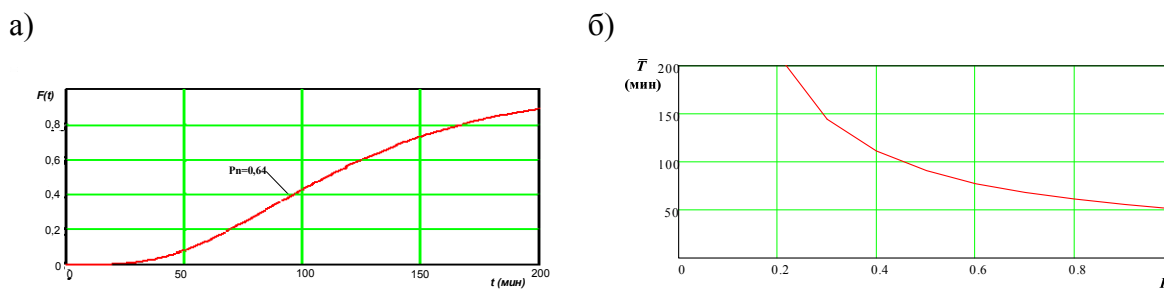


Рис. 2. Вероятностно-временные характеристики системы воздействия противника:  
 а) зависимость интегральной функции распределения вероятности воздействия от времени; б) зависимость среднего времени реализации воздействия от вероятности воздействия

Анализ полученных зависимостей на рис. 2 позволяет сделать вывод о том, что для реализации воздействия противника с вероятностью  $P(t) = 0,1$  требуется более 100 мин. и 40 мин. при  $P(t) = 0,9$ . Полученные зависимости позволяют оценить влияние вероятности воздействия на значения функции распределения времени реализации применения средств воздействия на ИТКС. Видно, что увеличение вероятности  $P(t)$  уменьшает среднее время воздействия, т. е. чем меньше времени затрачивается на применение средств воздействия, тем выше вероятность поражения. Однако, по мере возрастания значения  $P(t)$  степень влияния на интегральную функцию распределения  $F(t)$  уменьшается и при преодолении значения  $P(t) = 0,5$  степень влияния пренебрежимо мала.

Таким образом представленный подход позволяет определить очередность и вид воздействия на каждый элемент ИТКС, что в свою очередь позволит определить меры противодействия каждому средству (виду) воздействия.

#### Список используемых источников

1. Берзин Е. А. Оптимальное распределение ресурсов и элементы синтеза систем. М.: Советское радио, 1974. 304 с.
2. Привалов А. А. Метод топологического преобразования стохастических сетей и его использование для анализа систем связи ВМФ. СПб.: ВМА, 2000. 240 с.
3. Коцыняк М. А., Карганов В. В., Нечепуренко А. П., Лаута О. С. Методика обоснования мер противодействия фото (телевизионной) разведке высокоточного оружия // Материалы конференций ГНИИ «Нацразвитие» сборник избранных статей. 2016. С. 13–20.
4. Коцыняк М. А., Карганов В. В., Нечепуренко А. П., Лаута О. С. Методика обоснования мер противодействия инфракрасной разведке высокоточного оружия // Высшая школа. 2016. № 8. С. 125–127.

УДК 355.256

## ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММЫ RIVERBED MODELER ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ СВЯЗИ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

**В. Г. Иванов<sup>1</sup>, С. А. Панихидников<sup>2</sup>, Р. Н. Панков<sup>1</sup>, А. В. Удальцов<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Военная академия связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

*В работе анализируются специальные, ориентированные на моделирование вычислительных сетей программные системы которые могут быть использованы для моделирования транспортной сети связи специального назначения.*

*имитационная модель, транспортная сеть специального назначения.*

Существуют специальные, ориентированные на моделирование вычислительных сетей программные системы, в которых процесс создания модели упрощен. Такие программные системы сами генерируют модель сети на основе исходных данных о ее топологии и используемых протоколах, об интенсивностях потоков запросов между компьютерами сети, протяженности линий связи, о типах используемого оборудования и приложений.

При имитационном моделировании сети не требуется приобретать дорогостоящее оборудование, так как его работа имитируется программами, достаточно точно воспроизводящими все основные особенности и параметры такого оборудования.

Применительно к сетям связи их имитационные модели воспроизводят процессы генерации сообщений, разбиение сообщений на пакеты и кадры определенных протоколов, задержки, связанные с обработкой сообщений, пакетов и кадров внутри операционной системы, процесс получения доступа компьютером к разделяемой сетевой среде, процесс обработки поступающих пакетов маршрутизатором и т. д. [1].

Для создания имитационной модели транспортной сети связи рассмотрим программный продукт Riverbed modeler.

Программа Riverbed modeler предлагает пользователям графическую среду для создания, выполнения и анализа событийного моделирования сетей связи. Это удобное программное обеспечение может быть использовано для решения многих задач, например, для проверки протоколов связи, анализа взаимодействий протоколов, оптимизации и планирования сети. Также возможно осуществить с помощью программы проверку правильности аналитических моделей и описание протоколов [2].

После окончания моделирования пользователь получает в свое распоряжение следующие характеристики по производительности сети:

- прогнозируемые задержки между конечными и промежуточными узлами сети, пропускные способности каналов, коэффициенты использования сегментов, буферов и процессоров;

- пики и спады трафика как функцию времени, а не как усредненные значения;

- источники задержек и узких мест сети.

### *Краткое описание функций программы Riverbed modeler*

На рис. 1 представлена база ресурсов сети программы Riverbed modeler.

База ресурсов представляет собой набор моделей устройств различных производителей сетевого оборудования, таких как 3Com, CISCO и других (концентраторы, коммутаторы, маршрутизаторы, мосты и др.), а также технологий Ethernet, FDDI, Token Ring, STP, ATM, Frame Relay, VLAN, xDSL, Wireless LAN. В базе ресурсов также имеются наиболее распространенные и известные протоколы (рис. 2) [3].

Используемое приложение можно выбрать из уже готового набора приложений либо, задав соответствующие характеристики, создать требуемый нестандартный тип приложений. Для коммутатора можно задать количество портов, временные задержки, производительность. Для каждо-

го приложения необходимо указать сервер, который выполнял бы соответствующие запросы.

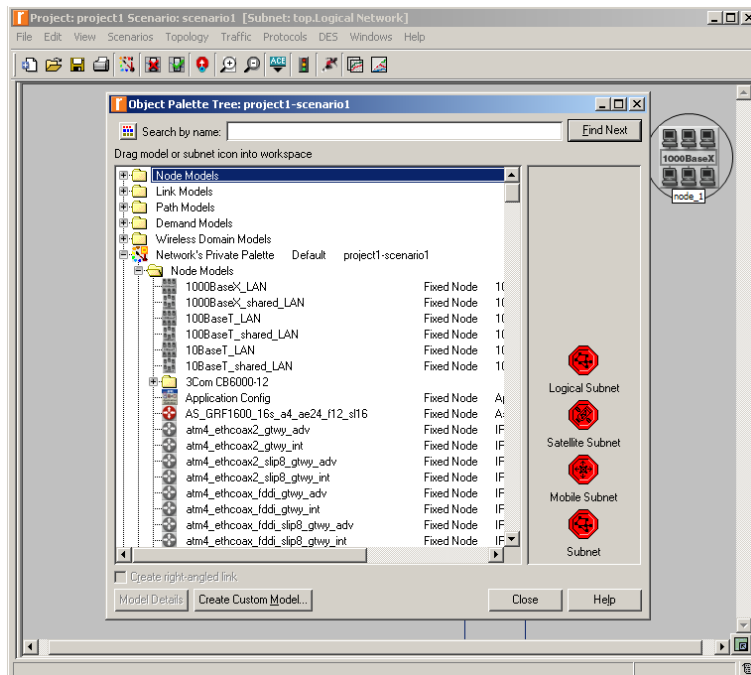


Рис. 1. База ресурсов программы Riverbed modeler

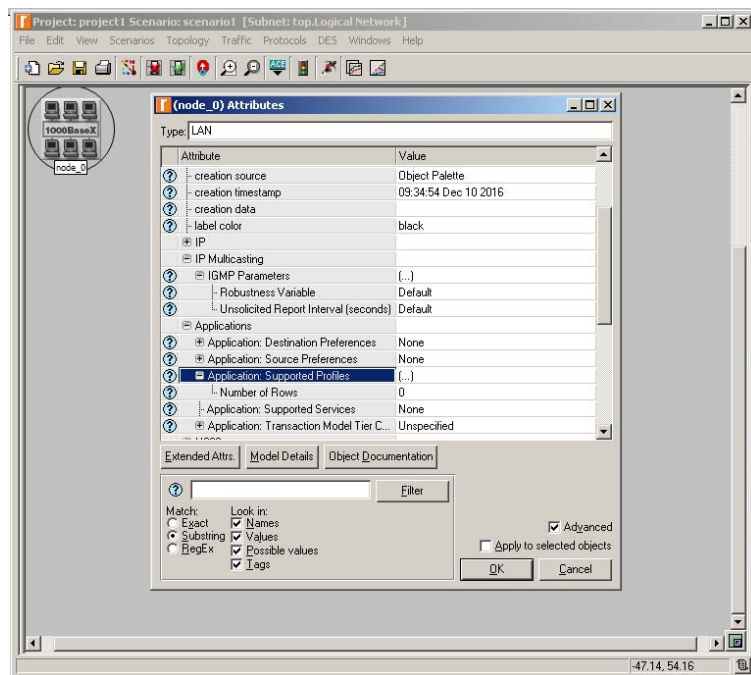


Рис. 2. Выбор и настройка параметров приложений

Так как все процессы функционирования стохастические, для моделирования необходимо также указать законы распределений, сценарии моделирования, согласно которым генерируются заявки в сети.

Также имеется возможность просмотра требуемых результатов моделирования, таких, как загрузка устройств, линий связи, количество принятых и отправленных бит коммутатором, сервером и т. д. (рис. 3).

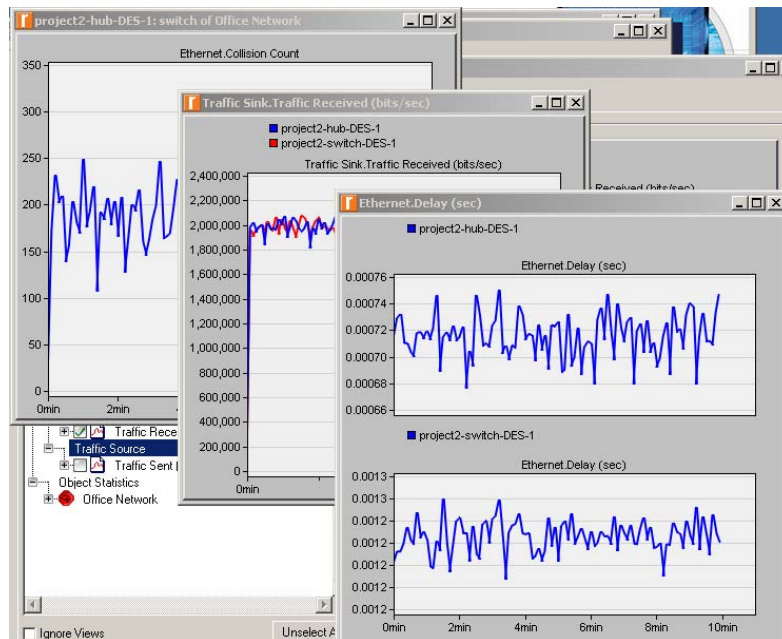


Рис. 3. Количество принятых и переданных бит коммутатором, задержки, коллизии

Структура фрагмента транспортной сети представлена на рис. 4.

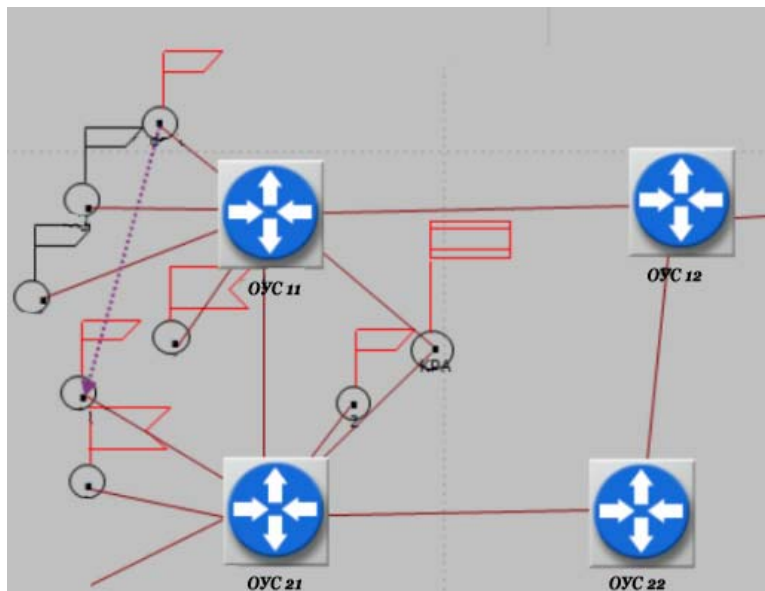


Рис. 4. Структура фрагмента транспортной сети

На рис. 5 и 6 представлены результаты моделирования сети при интенсивности пакетов 512 и 64 Кбит/с. Толщиной линий показана загрузка канала связи.

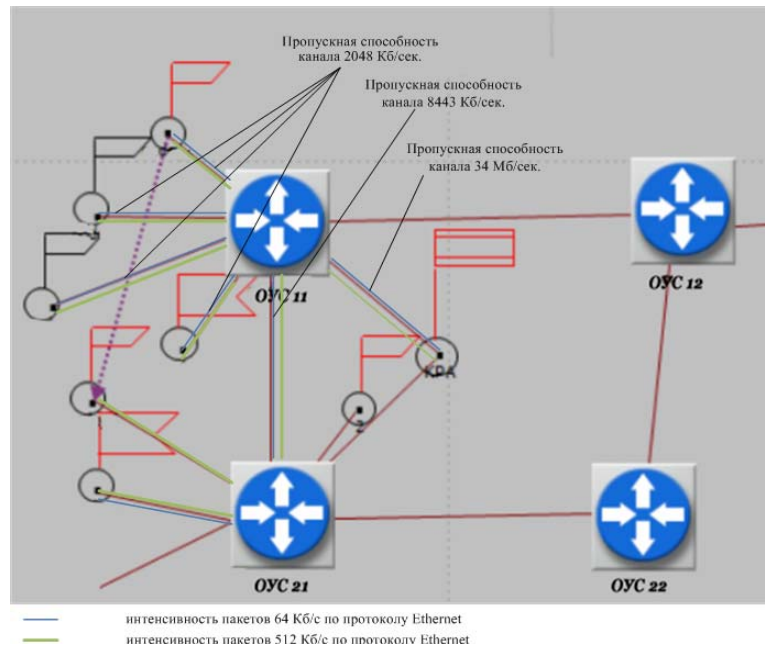


Рис. 5. Нагрузка на канал связи по протоколу Ethernet

Теперь проведем модельный эксперимент и заменим протокол с Ethernet на RIP.

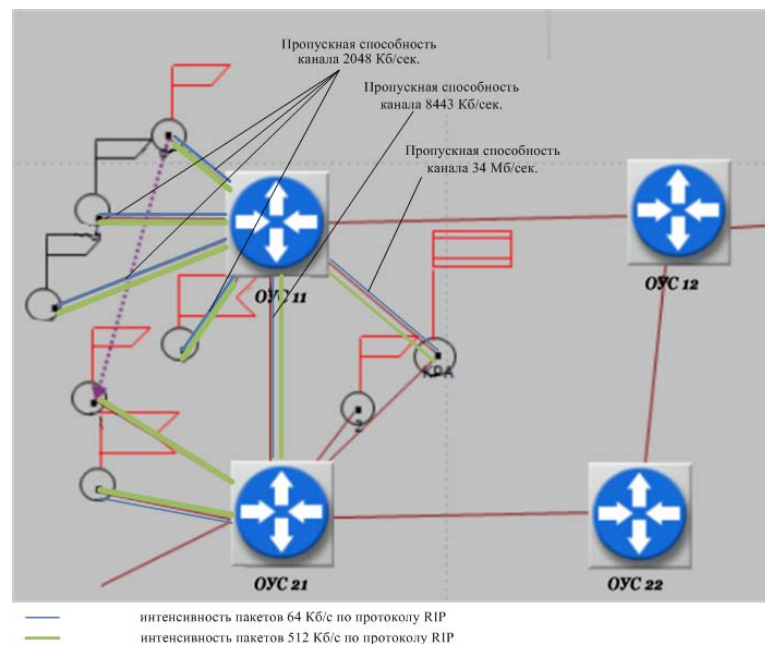


Рис. 6. Нагрузка на канал связи по протоколу RIP

### Вывод

1. Программа Riverbed modeler позволяет анализировать как существующие, так и проектируемые сети (в стадии системного проектирования). При использовании Riverbed modeler отпадает необходимость трудоемких расчетов для поиска слабых мест сети. Любую сетевую ситуацию,

расширение или преобразование сети можно сначала смоделировать и оценить последствия и только потом начинать монтажные работы и закупку оборудования.

2. В результате построения имитационной модели фрагмента транспортной сети были собраны статистические данные о различных временных характеристиках функционирования сети. На основании собранных данных можно увидеть наличие перегруженных участков сети, которые являются критическим звеном в функционировании всего сетевого сегмента.

#### Список используемых источников

1. IT Guru Academic Edition. OPNET Technologies, 2005 [Электронный ресурс]. URL: [http://www.opnet.com/services/university/itguru\\_academic\\_edition.html](http://www.opnet.com/services/university/itguru_academic_edition.html) (дата обращения 10.03.2017).

2. OPNET IT Tutorial [Электронный ресурс]. URL: <http://www.opnet.com/itguruacademic/mk-setup.html> (дата обращения 10.03.2017).

3. J. Theunis, B. Van den Broeck, P. Leys, J. Potemans I, E. Van Lil, A. Van de Capelle, “OPNET in Advanced Networking Education”. URL: [http://www.esat.kuleuven.ac.be/telemic/networking/opnetwork /02\\_johan.pdf](http://www.esat.kuleuven.ac.be/telemic/networking/opnetwork /02_johan.pdf) (дата обращения 10.03.2017).

УДК 331.4

## СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ОХРАНОЙ ТРУДА НА ПРЕДПРИЯТИЯХ МАЛОГО БИЗНЕСА

**В. К. Иванов, С. А. Панихидников, Н. В. Сакова**

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

*Рассматриваются вопросы построения и функционирования системы управления охраной труда на малых предприятиях с учетом современных законодательных и нормативных требований. В материале проводится анализ особенностей деятельности малых предприятий в области охраны труда; даются практические рекомендации по созданию и функционированию наиболее существенных элементов системы, рекомендации по оценке условий труда.*

*система управления охраной труда, малое предприятие.*

Развитие малого бизнеса является в настоящее время одним из путей экономического развития государства и повышения занятости населения. При создании и функционировании малого предприятия работодатели сталкиваются с необходимостью решения ряда серьезных вопросов как

экономического, так и социального характера. Одними из важнейших социальных вопросов являются вопросы охраны труда, связанные с сохранением жизни и здоровья работников при выполнении трудовых обязанностей. Охрана труда представляет собой сложную систему различных мероприятий: правовых, социально-экономических, инженерно-технических, лечебно-профилактических и иных, направленных на предупреждение воздействия на работников и защиту от вредных и опасных производственных факторов [1]. При создании малого предприятия должна создаваться система управления охраной труда (далее СУОТ) как часть общей системы менеджмента предприятия.

Данная работа посвящена анализу деятельности малых предприятий в области охраны труда и разработке рекомендаций по созданию и функционированию СУОТ в малом бизнесе.

На протяжении многих десятилетий СУОТ создавалась и с достаточной степенью эффективности функционировала на крупных предприятиях. Однако процессы изменения экономического строя в нашей стране в конце прошлого века негативно сказались на эффективности СУОТ. Экономические проблемы «отодвинули» вопросы охраны труда на второй план. Недостаточное внимание к вопросам охраны труда приводит к таким тяжелым последствиям как повышенный уровень производственного травматизма и профессиональной заболеваемости. Данные по производственному травматизму и профессиональной заболеваемости в нашей стране представлены в таблицах 1 и 2. Данные приведены для всех российских предприятий вне зависимости от размера и формы собственности. В малом бизнесе уровень травматизма и профессиональной заболеваемости в расчете на 1000 / 10000 человек существенно не отличается от общих значений.

В начале 2000-х гг. уровень производственного травматизма в нашей стране в 10 раз превышал уровень развитых стран (Япония, Великобритания). В настоящее время, согласно данным статистики, наблюдается существенное снижение уровня травматизма. Однако, данные официальной статистики не отражают реальный уровень производственного травматизма в нашей стране, т. к. значительное число травм скрывается. Соккрытие несчастных случаев имеет место как на крупных, так и на небольших предприятиях. С точки зрения авторов, данная проблема более актуальна для малого бизнеса.

Опыт практической работы в области охраны труда с малыми предприятиями показывает следующую картину.

– 75–80 % малых предприятий практически не занимаются вопросами охраны труда. В это число входят работодатели, не имеющие достаточных правовых знаний о требованиях охраны труда, либо работодатели, которые не готовы в данный момент нести расходы по созданию СУОТ на предприятии. К данной группе относятся также работодатели, понимающие необходимость охраны труда на предприятии и собирающиеся в ближайшее



время заняться данными вопросами. Однако, дальше намерений ничего не идет, и предприятия долгие годы работают без созданной СУОТ.

ТАБЛИЦА 1. Производственный травматизм в Российской Федерации

Год	2001	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Численность пострадавших при несчастных случаях на производстве, тыс. чел.								
всего	144,7	77,7	47,7	43,6	40,4	35,6	31,3	28,2
из них со смертельным исходом	4,37	3,09	2,00	1,82	1,82	1,70	1,46	1,29
Численность пострадавших при несчастных случаях на производстве на 1000 работающих соответствующего пола, тыс. чел.								
всего	5,0	3,1	2,2	2,1	1,9	1,7	1,4	1,3
из них со смертельным исходом	0,150	0,124	0,094	0,086	0,084	0,080	0,067	0,062
Число человеко-дней нетрудоспособности у пострадавших на производстве								
всего, млн.	4,1	2,5	2,2	2,1	1,8	1,7	1,5	1,4
на одного пострадавшего	28,4	32,2	45,9	48,4	45,6	47,4	48,7	48,6

ТАБЛИЦА 2. Профессиональная заболеваемость в Российской Федерации

Численность лиц с впервые установленным профессиональным заболеванием (отравлением)	2010	2011	2012	2013	2014	2015
всего, человек	7671	7836	6696	6993	6718	6334
на 10 000 работающих	1,64	1,71	1,46	1,53	1,48	1,40

– Около 10 % предприятий занимаются охраной труда самостоятельно, без привлечения специалистов, работающих в области охраны труда. Обычно к этой группе относятся предприятия, руководители которых ранее имели большой опыт работы на крупных предприятиях с нормально функционирующей СУОТ. Отсутствие специалиста по охране труда на таких предприятиях не позволяет правильно вести работу и, довольно часто ведет к наложению штрафов за невыполнение требований законодательства.

– Около 10–15 % предприятий создают СУОТ либо с привлечением внешних специалистов по охране труда, либо вводя штатную должность специалиста на предприятии. К этой группе относятся предприятия, прошедшие проверки Государственной инспекции труда и других надзорных органов, а также предприятия, руководство которых понимает важность

вопросов охраны труда. Кроме того, в настоящее время при подписании контрактов или договоров на выполнении определенных работ одним из условий является наличие СУОТ на малом предприятии.

Анализ состояния работ по охране труда выявил следующие особенности малого бизнеса, приводящие к неудовлетворительным результатам функционирования СУОТ.

– Недостаточная правовая грамотность руководителей и собственников малых предприятий. Некоторые руководители не имеют представления о требованиях российского законодательства в области охраны труда. невыполнение требования влечет за собой серьезные штрафы. С 2015 г. резко возрос размер административных штрафов за нарушения в области охраны труда [2]. Штрафы в размере нескольких сот тысяч могут значительно ухудшить финансовое состояние предприятия.

– Требования законодательства в области охраны труда едины для всех предприятий независимо от их размера и формы собственности. Эта особенность воспринимается руководством и собственниками малых предприятий как элемент социального неравенства, что значительно снижает эффективность работ по охране труда. Особенно «больной» темой является административная ответственность с «несправедливыми» с точки зрения малого бизнеса штрафами в области охраны труда.

– Небольшое число работников предприятия. С одной стороны, небольшая численность работников и должностей в штатном расписании резко снижает объем работ по охране труда на предприятии. С другой стороны, при низкой численности работников (менее 50 человек) руководитель не вводит должность специалиста по охране труда, что резко снижает эффективность данных работ.

– Допуск работников к выполнению работ без оформления, либо прием работника по договору подряда. Эти нарушения законодательства широко распространены в малом бизнесе, несмотря на высокие административные штрафы. В данном случае работодатель снимает с себя всю ответственность за обеспечение безопасных условий труда работников, а работники оказываются полностью незащищенными от возможных производственных рисков.

Выявленные особенности малых предприятий обязательно должны учитываться при построении СУОТ. Отсутствие специалиста по охране труда на предприятиях численностью менее 50 человек предьявляет серьезные требования к компетенции руководителя предприятия, в т. ч. в области охраны труда. Недостаточность финансовых средств на предприятии приводит к необходимости создания СУОТ своими силами, без помощи специализированных организаций.

Создание СУОТ на предприятии малого бизнеса также имеет свои особенности. С точки зрения авторов имеет смысл нарушить традицион-

ную последовательность построения систем управления, выполняя некоторые этапы в более ранние сроки. Далее представлены общие подходы к построению СУОТ на малых предприятиях вне зависимости от их области деятельности.

1. Первым шагом к созданию СУОТ должно стать обучение по охране труда руководителей и специалистов предприятия. При этом руководители получают подробную информацию о требованиях законодательства и ответственности за невыполнение требований. Руководитель может также в первом приближении оценить объем работ в области охраны труда на своем предприятии.

2. Разработка политики, целей предприятия в области охраны труда, распределение обязанностей работников – традиционный начальный этап для построения системы управления.

3. Проведение специальной оценки условий труда на рабочих местах предприятия. Традиционно спецоценка проводится на крупных предприятиях при созданной и работающей СУОТ. Однако, для малого предприятия имеет смысл провести ее на начальном этапе. По результатам спецоценки руководители получают большое количество информации по условиям труда, полагающимся компенсациям, необходимости медосмотров, направлениям совершенствования условий труда. Полученная информация позволит в дальнейшем исключить расходы на выполнение большого объема лишней работы, например, по организации медосмотров, начисления доплат за вредность и др. К сожалению, проводимая в настоящее время спецоценка условий труда не позволяет подробно обследовать рабочие места по сравнению с проводимой ранее аттестацией рабочих мест по условиям труда [3]. После проведения спецоценки предприятие может в дальнейшем возвращать часть средств, выплаченных в виде взносов в Фонд социального страхования.

4. Разрабатываются процедуры проведения работ в области охраны труда на предприятии, разрабатывается комплект локальных нормативных актов. Данный этап является самым трудоемким, т. к. он связан с подробным анализом состояния рабочих мест, оборудования, техпроцессов. Выполнение данного этапа должно основываться на хорошем знании законодательных и нормативных требований в области охраны труда. С точки зрения авторов этот этап должен выполняться только специалистами по охране труда, работающими на данном предприятии, либо привлекаемыми по аутсорсингу [4].

5. Планирование работ в области охраны труда и разработка методов контроля за выполнением мероприятий – традиционный этап в создании системы управления.

**Список используемых источников**

1. Российская Федерация. Законы. Трудовой кодекс [Текст] : [федер. закон : принят Гос. Думой 21 дек. 2001 г. : одобр. Советом Федерации 26 дек. 2001 г.] : по состоянию на 10 нояб. 2011 г. М. : Проспект, 2011. 221 с.

2. Российская Федерация. Кодекс Российской Федерации об административных правонарушениях [Текст] : офиц. текст : по сост. на 3 апр. 2006 г. М. : Омега-Л, 2006. 319 с.

3. Сакова Н. В. Некоторые аспекты проведения оценки условий труда на рабочих местах в машиностроении // Вестник Рыбинского государственного авиационного технического университета имени П. А. Соловьева. 2016. № 1 (36). С. 148–153.

4. Сакова Н. В. Особенности построения системы управления охраной труда на малых предприятиях машиностроительного профиля // Современные технологии в машиностроении: сборник статей XX Международной научно-практической конференции. – Пенза: Приволжский Дом знаний, 2016. С. 55–58.

**УДК 504.055****ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ  
ОТ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ  
И ДРУГИХ ИСТОЧНИКОВ В САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ****В. К. Иванов, В. И. Стурман**

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

*Выполнено исследование напряженности электрических полей промышленной частоты в Санкт-Петербурге и окрестностях. Выявлено, что санитарно-защитные и охранные зоны высоковольтных линий не всегда обеспечивают снижение напряженности до регламентируемых значений. Напряженность электрических полей на удалении от высоковольтных линий возрастает от зеленых зон и окраин города к его историческому центру. Выявлен ряд локальных участков превышения предельно-допустимого уровня.*

*электрические поля, напряженность, Санкт-Петербург.*

Электрические поля от воздушных высоковольтных линий (ВЛ), электроподстанций, различного электротехнического оборудования и электрических приборов – один из нормируемых видов электромагнитного загрязнения окружающей среды. Согласно СанНиН 2971-84 [1] предельно допустимый уровень (ПДУ) напряженности электрических полей промышленной частоты (50 Гц) составляет 0,5 кВ/м внутри жилых зданий, 1 кВ/м на территории зоны жилой застройки и 5 кВ/м в населенной местности вне зоны жилой застройки. Защита от воздействий электрических

полей ВЛ достигается путем создания вдоль них санитарно-защитных (СЗЗ) и охранных зон. Однако санитарно-защитные зоны предусмотрены в СанНиН 2971-84 [1] только для 330 кВ шириной 20 м, ВЛ-500 шириной 30 м, ВЛ-750 шириной 40 м и ВЛ-1150 кВ шириной 55 м. Те же размеры СЗЗ предусмотрены в СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03. От СЗЗ следует отличать охранные зоны, создаваемые не для защиты от воздействий ВЛ, а, наоборот, для защиты самих ВЛ от действий, способных нарушить их функционирование; их ширина составляет от проекции крайних фазовых проводов 20 м для ВЛ-110, 25 м для ВЛ-220, 30 м для ВЛ-330 и ВЛ-500. Охранные зоны ВЛ регламентируются согласно Правилам установления охранных зон объектов электросетевого хозяйства и особых условий использования земельных участков, расположенных в границах таких зон (Постановление Правительства РФ «О порядке установления охранных зон объектов электросетевого хозяйства и особых условий использования земельных участков, расположенных в границах таких зон» от 24.02.2009 г. № 160). В их пределах запрещается производить строительство, капитальный ремонт, снос любых зданий и сооружений, осуществлять всякого рода взрывные, мелиоративные работы, производить посадку деревьев, устраивать спортивные площадки, стадионы, остановки транспорта, проводить любые мероприятия, связанные с большим скоплением людей, и др.

Исследование электрических полей промышленной частоты в Санкт-Петербурге выполнено при помощи прибора Gigahertz Solutions ME 3830 В М/Е Analyser. Прибор позволяет измерять напряженность электрического поля в диапазоне от 1 до 2000 в/м. Измерения выполнялись на высоте 1,5 м от поверхности земли. Измерения проводились в четырех вариантах.

1. Профильные мониторинговые, для определения устойчивости характеристик электрических полей ВЛ, непосредственно под проводами в местах их наибольшего провисания, и на удалении от них 10, 15, 20, 25 и 30 м. В качестве объектов мониторинга выбраны системы параллельных ВЛ разного напряжения, вблизи станции метро Девяткино (две ВЛ-330, одна ВЛ-220, две ВЛ-110), а также у пересечения проспектов Маршала Блюхера и Кондратьевского (ВЛ-330 и ВЛ-110). Профильные мониторинговые измерения выполнялись многократно в одних и тех же точках.

2. Профильные разовые, для ориентировочной оценки зон воздействия ВЛ, преимущественно в местах их соседства с жилой застройкой. При помощи интернет-сервиса <https://yandex.ru/maps/> выбирались участки минимальных разрывов между линиями высоковольтными электропередач, электроподстанциями, и жилыми зонами, и другими местами пребывания населения. Измерения выполнялись однократно, также непосредственно под проводами ВЛ в местах их наибольшего провисания, и на удалении от них 10, 15, 20, 25 и 30 м. Однократные измерения выполнены на 30 профилях в разных районах города и ближайших окрестностей.

3. Точечные мониторинговые, для определения устойчивости характеристик электрических полей от совокупности их источников в жилых районах. Измерения выполнялись многократно в одних и тех же точках, до получения представительных выборок.

4. Точечные однократные, когда замеры проводились в отдельных точках городской территории, на удалении от воздушных ВЛ. Местами таких измерений стали около 300 точек, находящихся на улицах и во дворах (внутриквартальных пространствах) различных районов Санкт-Петербурга и ближайших окрестностей, а также в парках и лесопарках.

Исследование показало, что размеры СЗЗ не вполне обеспечивают защитные функции, по крайней мере в условиях Санкт-Петербурга, в осенне-зимний сезон. Непосредственно под проводами ВЛ в местах их наибольшего провисания повышенные значения напряженности наблюдались:

- под ВЛ-110 значения выше 2 кВ/м при 2, а значения выше 1 кВ/м (ПДУ) при 6 измерениях из 56 (3,6 % и 10,7 % соответственно);
- под ВЛ-220 значения выше 2 кВ/м при 5 измерениях из 8 (62,5 % при непредставительной выборке);
- под ВЛ-330 значения выше 2 кВ/м при 18, а значения выше 1 кВ/м (ПДУ) при 21 измерениях из 40 (45 % и 52,5 % соответственно).

Однократные измерения показателей напряженности электрических полей промышленной частоты выявили их сильную зависимость от характера использования и типа застройки городской территории. В плотной застройке исторического центра Санкт-Петербурга среднее значение напряженности составило 0,266 кВ/м, в т. ч. на улицах в среднем 0,306 кВ/м, во дворах 0,228 кВ/м, на площадях и в других разрывах застройки – 0,056 кВ/м. В районах современной застройки среднее значение напряженности составило 0,088 кВ/м, в т. ч. на улицах 0,068, во дворах и других внутриквартальных пространствах 0,126 кВ/м, в парках – 0,009 кВ/м.

Приведенные характеристики электрических полей в Санкт-Петербурге оказались существенно выше, чем в изученных ранее [2] городах Самарской области. При этом за средними значениями, закономерно повышающимися от парков к улицам исторического центра, скрываются многочисленные отклонения от средних, обусловленные локальными причинами. На узких улицах с многоэтажной застройкой, хотя и не самых насыщенных предприятиями торговли, общественного питания и транспортом (ул. Достоевского, Кирочная, Разъезжая, Гончарная, Виленский пер.) на отдельных участках отмечены превышения ПДК до 2 раз, объясняемые кабелями подземной прокладки. Участки с наиболее высокими (выше ПДУ) значениями посещались повторно через 2–3 недели, и во всех случаях вновь фиксировались высокие значения.

Электрификация исторического центра Санкт-Петербурга осуществлялись после его застройки, в стесненных условиях узких улиц, часто

при близком залегании грунтовых вод. Те же факторы могли проявиться и во внутриквартальных пространствах районов современной застройки. Поскольку наблюдениями пока была охвачена незначительная часть территории города, есть основания полагать, что выявлена небольшая часть фактически существующих участков с превышениями ПДУ.

#### Список используемых источников

1. СанНиН 2971-84. Санитарные нормы и правила защиты населения от воздействия электрического поля, создаваемого воздушными линиями электропередачи переменного тока промышленной частоты. М., 1984. 8 с.

2. Васильев А. В., Бухонов В. О., Васильев В. А. Особенности и результаты мониторинга электромагнитных полей в условиях территории Самарской области // Известия Самарского научного центра РАН. 2013. Т. 15. № 3 (1). С. 585–590.

#### УДК 501

## ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН НА ЧЕЛОВЕКА

Е. В. Иванова<sup>1</sup>, С. А. Панихидников<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Северо-Западный государственный медицинский университет И. И. Мечникова

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

*Бурное развитие техники всё более заполняет наше жизненное пространство различными электромагнитными полями. Влияние электромагнитного поля на организм человека изучается давно, но при этом почти всегда рассматривалось прямое воздействие на организм, уровень которого вызывает в нем сразу явные инструментально фиксируемые изменения в органах. С развитием науки стало ясно, что при воздействиях электромагнитных полей должны существовать не только прямые механические и тепловые изменения тканей, но и структурные изменения в клетке от слабых и очень слабых электрических сигналов, как результат реакции организма на воздействия, но не приводящие к органическим, а только к функциональным изменениям. Но для сохранения здоровья необходимы дальнейшие исследования и совершенствования конструкций с целью уменьшения и нейтрализации их возможных неблагоприятных воздействий на человека.*

*электромагнитные волны, биологический эффект, организм человека, СВЧ, ТВЧ, острое поражение, хроническое воздействие.*

Электромагнитные волны различных диапазонов получили широкое применение в промышленности, науке, технике, медицине: в радиовещании, телевидении и связи, для нагрева и сварки диэлектриков и т. д. Значи-

тельное применение нашли электромагнитные волны сверхвысоких частот (СВЧ) в радиолокации, радиометеорологии, радиоастрономии, радионавигации, в космических исследованиях, ядерной физике и т. д.

В конце XX века появилось такое понятие, как «электромагнитный смог», что означает – загрязнение среды обитания человека неионизирующими излучениями от устройств использующих, передающих и генерирующих электромагнитную энергию и возникающие из-за несовершенства техники или нерационального ее применения. Существует два вида электромагнитного смога (рис. 1).

Техногенный электромагнитный смог – это враг всему живому природы, которые создал человек, не считаясь с природными, экологическими законами.

Но всё неоднозначно. В нашей стране исследования влияния электромагнитных полей на человека и животных ведутся больше 50 лет. Проведя сотни экспериментов, российские ученые установили, что более всего подвержены влиянию растущие ткани, эмбрионы. Выяснилось, что электромагнитные поля влияют также на нервную и мышечную ткани, могут провоцировать неврологические нарушения и бессонницу, а также сбои в работе желудочно-кишечного тракта. Они меняют и частоту сердечных сокращений, и артериальное давление.



Рис. 1. Виды электромагнитного смога

В настоящее время доказано, что поглощенная организмом электрическая энергия может вызывать как термическое, так и специфическое биологическое действие. Интенсивность последнего нарастает с увеличением мощности и длительности действия электромагнитного поля, причем выраженность реакции в основном находится в зависимости от диапазона радиочастот, а также от индивидуальных особенностей организма. Интен-



сивное облучение сначала вызывает тепловой эффект. Влияние микроволн большой интенсивности связано с выделением тепла в биообъекте, что приводит к нежелательным последствиям (нагрев органов и тканей, термическое поражение и т. п.). В то же время при электромагнитном поле ниже допустимого определяется своеобразное специфическое (нетермическое) действие, выражающееся в явлении возбуждения в блуждающем нерве и синапсах [1].

При воздействии токов высокой (ТВЧ) и сверхвысокой (СВЧ) частот отмечается накопление биологического эффекта, в результате чего возникают функциональные изменения нервной и сердечно-сосудистой систем, нарушения в организме под действием различных диапазонов. Воздействие радиоволн малой интенсивности имеют также неодинаковую направленность. Экспериментально установлены особая чувствительность нервной системы, затем миокарда, наличие дистрофических изменений в семенниках и отставание в развитии.

Микроволны при действии на организм могут проявлять дезадаптирующее действие, т. е. нарушать ранее приобретенную устойчивость к различным неблагоприятным факторам, а также извращать некоторые приспособительные реакции. Общей закономерностью действия электромагнитного поля является двухфазность реакций, отражающих стимулирующее влияние на центральную нервную систему относительно малых интенсивностей и тормозящее влияние больших интенсивностей:

$$M = f(N, T, Y, R, S),$$

где:  $M$  – микроволны,  $N$  – нервная система,  $T$  – ткани организма,  $Y$  – нейрогуморальная система,  $R$  – рефлекторная деятельность,  $S$  – сердечно-сосудистая система.

В зависимости от интенсивности и длительности воздействия радиоволн выделяют острые и хронические формы поражения организма.

**Острое поражение.** Возникает только при авариях или грубом нарушении техники безопасности, когда работающий оказывается в мощном электромагнитном поле. Наблюдается температурная реакция (39–40 °С); появляются: одышка, ощущение ломоты в руках и ногах, мышечная слабость, головные боли, сердцебиение. Отмечаются: брадикардия, гипертензия. Описаны выраженные вегетативно-сосудистые нарушения, диэнцефальные кризы, приступы пароксизмальной тахикардии, состояние тревоги, повторные носовые кровотечения.

**Хроническое воздействие.** Ведущее место в клинической картине заболевания занимают функциональные нарушения центральной нервной и сердечнососудистой систем. Изменения нервной системы характеризуются наличием астенических, невротических и вегетативных реакций. Наиболее часто больные предъявляют жалобы на общую слабость, быструю утомляемость, снижение работоспособности, расстройства сна, раз-

дражительность, потливость, головную боль неопределенной локализации. Некоторых беспокоят боли в области сердца, иногда сжимающего характера с иррадиацией в левую руку и лопатку, одышка. Болезненные явления в области сердца чаще ощущаются к концу рабочего дня, после нервного или физического напряжения [2].

При диагностике заболеваний используется синдромная классификация поражений СВЧ-полем (рис. 2), предложенная Э. А. Дрогичиной и М. Н. Садчиковой [3].

Влияние электромагнитного поля нельзя характеризовать как однозначно негативное – электромагнитное излучение используется в физиотерапии для лечения многих заболеваний: оно способно ускорять заживление тканей и оказывать противовоспалительный эффект.

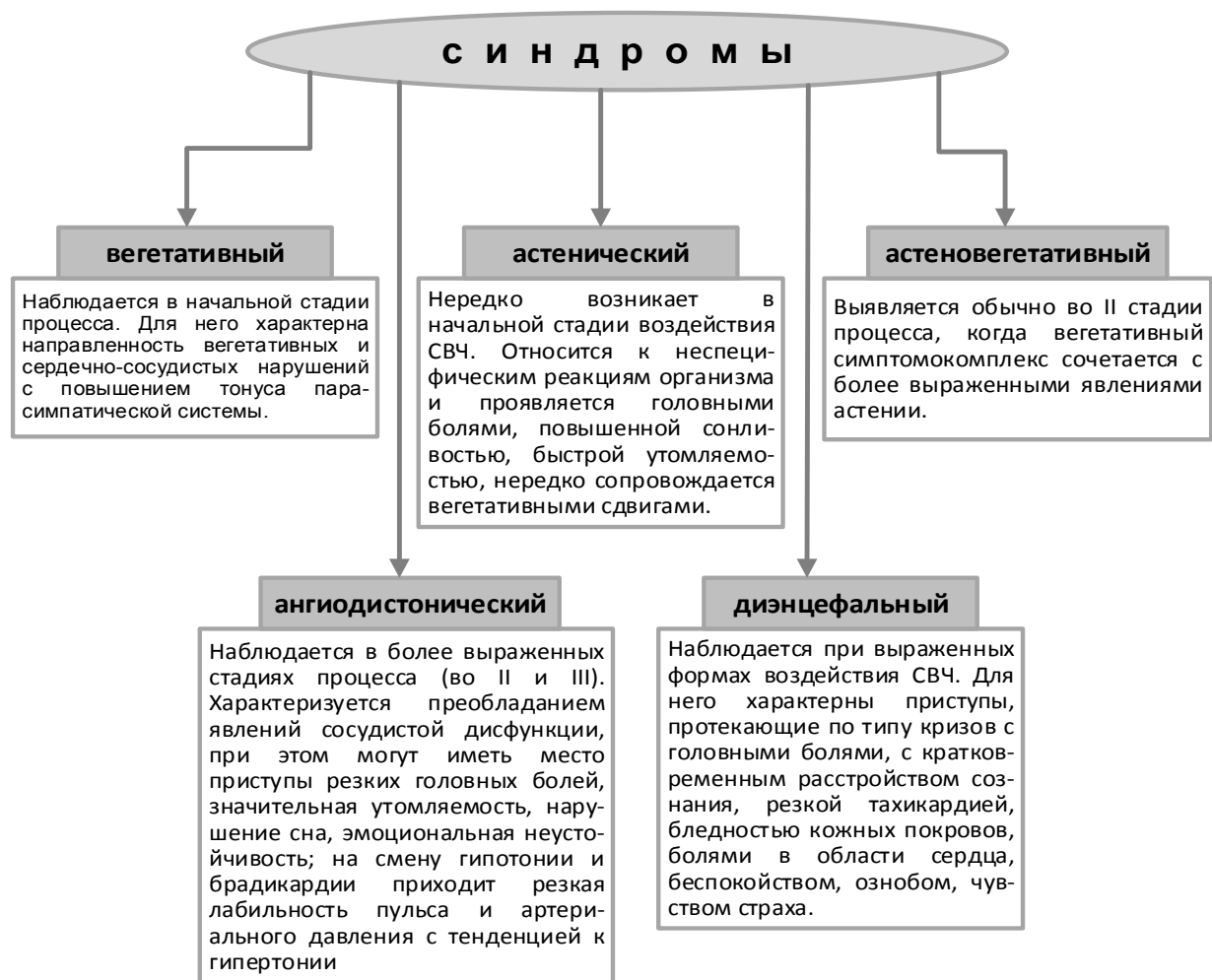


Рис. 2. Синдромная классификация поражений СВЧ-полем

Как это происходит: многие крупные молекулы нашего организма полярны, поэтому в результате воздействия на них непостоянного магнитного поля активизируются обмен веществ, ферментные процессы, улучшается клеточный метаболизм. Это позволяет применять магнитотерапию при

отёках, лечении суставов и для рассасывания кровоизлияний. Действие импульсов постоянного тока малой силы на структуры головного мозга способствует более глубокому и спокойному сну. Такой электросон – важная часть терапии гипертонической болезни, неврастении, снохождения и некоторых сосудистых заболеваний. При острых воспалительных процессах применяют всем известное УВЧ – прибор, генерирующий электромагнитное поле ультравысокой частоты с короткой длиной волны. Ткани нашего организма поглощают эти волны и преобразуют их в тепловую энергию. В результате ускоряется движение крови и лимфы, ткани освобождаются от застоя жидкости (обычного при воспалениях), активизируются функции соединительной ткани. Аппарат для УВЧ-терапии позволяет также снимать спазмы гладкой мускулатуры желудка, кишечника, желчного пузыря, ускоряет восстановление нервной ткани, понижает чувствительность концевых нервных рецепторов, то есть способствует обезболиванию. А ещё уменьшает тонус капилляров и артериол, понижает артериальное давление и снижает частоту сердечных сокращений.

Как именно влияет на нас электромагнитное поле от обычных бытовых приборов и насколько оно вредно для здорового человека – вопрос спорный, поэтому разумно по возможности экранировать источники электромагнитного излучения и стараться свести к минимуму его воздействие [4].

Электромагнитные волны – неизбежные спутники бытового комфорта. Они пронизывают пространство вокруг нас и наши тела: источники ЭМ-излучения согревают и освещают дома, служат для приготовления пищи, обеспечивают мгновенную связь с любым уголком мира. Влияние электромагнитных волн на организм человека сегодня – предмет жарких споров.

#### **Список используемых источников**

1. Артамонова В. Г., Мухин Н. А. Профессиональные болезни учебник. М.: Медицина, 2004. 480 с.
2. Косарев В. В., Бабанов С. А. Профессиональные болезни : учеб. пособие. М. : Вузовский учебник: ИНФРА-М, 2011. 252 с.
3. Биндюк Т. Я., Бессчетнова О. В. Профессиональные болезни : учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений, обучающихся по специальности 033300 «Безопасность жизнедеятельности». Балашов : Николаев, 2007. 128 с.
4. Сергиенко А. Электромагнитный фон в помещениях и на рабочих местах // Библиотека инженера по охране труда. 2010. № 4 (118). С. 41–47.

УДК 654.026

## РАСЧЕТ СВОЕВРЕМЕННОСТИ ДОСТАВКИ СООБЩЕНИЙ В СИСТЕМЕ СВЯЗИ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРОТИВНИКА

Д. А. Калмыков, С. П. Кривцов, О. П. Тевс

Военная академия связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного

*В работе представлена методика расчета показателей своевременности доставки пакета в системах связи специального назначения. Методика учитывает устойчивость направлений связи (маршрутов доставки пакетов), на которые оказывают влияние дестабилизирующие факторы, в первую очередь огневое и радиоэлектронное воздействие противника.*

*вероятность своевременной доставки пакета, устойчивость, коэффициент устойчивости, направление связи, маршрут доставки пакета, узел связи, узел коммутации, линия связи.*

Основным предназначением системы связи специального назначения является обеспечение своевременного обмена всеми видами сообщений в системе управления войсками и силами. Способность системы связи выполнять эту задачу определяется временем передачи сообщений  $t_{\text{пер}}$  и вероятностью своевременной передачи сообщений  $P_{\text{пер}}$  как вероятности того, что время передачи сообщения не превысит допустимого  $P(t_{\text{пер}} \leq T_{\text{пер доп}})$ .

В соответствии с тем, что в настоящее время системы связи специального назначения создаются на основе средств и комплексов связи, обеспечивающих пакетную передачу сообщений, в качестве показателя своевременной передачи сообщений предлагается использовать время  $t_{\text{дост. пак}}$  и вероятность  $P_{\text{дост. пак}}$  своевременной доставки пакета, требования к которым приведены в таблице 1 [1].

ТАБЛИЦА 1. Требования к своевременности передачи сообщений

Показатель	Требования
Вероятность своевременной доставки пакета $P_{\text{дост. пак}}$	Для трафика реального времени $P_{\text{дост. пак}} \geq 0,95$ Для трафика передачи данных $P_{\text{дост. пак}} \geq 0,99$
Время доставки пакета $t_{\text{дост. пак}}$	Для трафика реального времени $t_{\text{дост. пак}} \leq 400$ мс Для трафика передачи данных $t_{\text{дост. пак}} \leq 3000$ мс

Время доставки пакета при пересылке от отправителя к получателю определяется следующим выражением [2]:

$$t_{\text{дост. пак}} = t_{\text{пк}} + t_3 + t_{\text{буф}},$$

где  $t_{\text{пк}}$  – время задержки пакетизации, определяемое временем, необходимым на выполнение операции преобразования сигнала и его пакетизацию;  $t_3$  – время задержки переноса пакета, определяемое временем прохождения пакетов по узлам коммутации (узлам связи) сети связи, которое зависит от используемых технологий и числа различных сетевых устройств, включенных в маршрут прохождения пакетов, а также от производительности (технических характеристик) устройств, осуществляющих пересылку пакетов;  $t_{\text{буф}}$  – время задержки на приемной стороне в буфере джиттера, определяемое временем работы устройств на узле получателя.

Вероятность своевременной доставки пакета определяется выражением [2]:

$$P_{\text{дост. пак}} = 1 - \exp\left(-\frac{t_{\text{доп}}}{t_{\text{дост. пак}}}\right), \quad (1)$$

где  $t_{\text{доп}}$  – допустимое время доставки пакета и  $t_{\text{дост. пак}}$  – реальное (рассчитанное) время доставки пакета.

Но, рассчитав время доставки пакета, нельзя гарантировать его стопроцентную доставку. Важнейшим параметром, определяющим своевременную передачу сообщений, является устойчивость системы связи. Необходимость достижения заданного уровня устойчивости направлений связи диктуется требованиями к своевременности связи. Это объясняется непосредственной связью между показателями устойчивости системы связи и своевременности передачи сообщений – коэффициентом устойчивости направления связи  $K_{\text{уст. НС}}$  и вероятностью своевременности передачи сообщений  $P_{\text{пер}}$ . Всегда  $P_{\text{пер}} \leq K_{\text{уст. НС}}$ , так как физический смысл коэффициента устойчивости направления связи  $K_{\text{уст. НС}}$  заключается в готовности технических средств связи и образованных ими линий связи к передаче сообщений на направлении связи в любой произвольно выбранный момент времени.

Соответственно выражение (1) справедливо в том случае, когда узлы и линии связи на маршруте доставки пакета обладают абсолютной устойчивостью. В системах связи специального назначения при расчете вероятности своевременной доставки пакета следует учитывать влияние на узлы и линии связи дестабилизирующих факторов, основным из которых будет воздействие противника. Следовательно, выражение (1) примет вид:

$$P_{\text{дост. пак}} = \left[ 1 - \exp\left(-\frac{t_{\text{доп}}}{t_{\text{дост. пак}}}\right) \right] \cdot K_{\text{уст. НС}}. \quad (2)$$

Таким образом, для оценки вероятности своевременной доставки пакета необходимо первоначально рассчитать коэффициент устойчивости направления связи, по которому передается пакет.

В целом устойчивость направления связи в выражении (2) представляет собой обобщенную устойчивость всех возможных маршрутов доставки пакета, определяемых устойчивостью узлов коммутации и линий связи, входящих в маршрут доставки пакета, т. е.

$$K_{уст. HC} = 1 - \prod_{i=1}^N (1 - K_{уст. i}),$$

где  $K_{уст. i}$  – показатель устойчивости узлов коммутации (узлов связи) и линий связи, составляющих  $i$ -й маршрут доставки пакета, а  $N$  – количество возможных маршрутов на направлении связи между двумя конечными узлами связи (узлами коммутации).

Таким образом, маршрут доставки пакета представляет собой совокупность направлений связи. Следовательно, расчет устойчивости направления связи по маршруту доставки пакета следует проводить на основе графа сети связи, где вершинами будут являться узлы связи (коммутации), а ребрами – линии связи их соединяющие, обеспечивающие доставку пакета:

$$K_{уст. i} = \prod_{j=1}^M K_{уст. ус. j} \cdot \prod_{k=1}^K K_{уст. лс. k},$$

где  $K_{уст. ус. j}$  – устойчивость узлов коммутации (узлов связи), входящих в  $i$ -й маршрут доставки пакета;  $M$  – количество узлов коммутации (узлов связи), входящих в  $i$ -й маршрут доставки пакета;  $K_{уст. лс. k}$  – устойчивость линий связи, соединяющих  $j$ -й и  $(j - 1)$ -й узлы коммутации, входящие в  $i$ -й маршрут доставки пакета;  $K$  – количество линий связи, соединяющих узлы коммутации, входящие в  $i$ -й маршрут доставки пакета, при этом очевидно, что  $K = M - 1$ .

Если между двумя смежными узлами связи развернуто несколько параллельных (резервных) линий связи, то их устойчивость определяется на основе выражения:

$$K_{уст. лс} = 1 - \prod_{q=1}^Q (1 - K_{уст. лс. q}),$$

где  $K_{уст. лс. q}$  – устойчивость каждой из линий связи, а  $Q$  – общее количество линий связи, соединяющих  $j$ -й и  $(j - 1)$ -й узлы коммутации, входящие в  $i$ -й маршрут доставки пакета.

Устойчивость направления связи – это интегральное свойство системы связи, определяемое, исходя из характера воздействия дестабилизирующих факторов, живучестью, помехоустойчивостью и надежностью. Основными видами воздействия на систему связи специального назначе-

ния со стороны противника будут огневое и радиоэлектронное противодействие, направленные на уничтожение или нарушение работы отдельных элементов и системы связи в целом.

Способность системы связи специального назначения противостоять воздействию противника позволит выполнить предъявляемые к ней требования по своевременной доставке сообщений.

Радиоэлектронное подавление направлено на срыв обмена информацией за счет воздействия на приемные устройства активными и пассивными радиоэлектронными помехами, что говорит о том, что помехоустойчивость определяется устойчивостью функционирования линий связи, которая зависит от помехозащищенности (доступности) линий связи средствам разведки и подавления комплекса радиоэлектронного подавления (РЭП), т. е.

$$K_{\text{уст. лс}} = K_{\text{пз}} = 1 - (1 - K_{\text{рз}}) \cdot (1 - K_{\text{пу}}), \quad (3)$$

где  $K_{\text{рз}}$  – коэффициент разведзащищенности радиолинии;  $K_{\text{пу}}$  – коэффициент устойчивости радиолинии к воздействию преднамеренных помех (коэффициент помехоустойчивости).

Коэффициент разведзащищенности радиолинии определяется энергетической доступностью излучений средств связи для обнаружения средствами разведки комплекса РЭП:

$$K_{\text{рз}} = 1 - P_{\text{обн}}, \quad (4)$$

где  $P_{\text{обн}}$  – вероятность энергетической доступности излучений средств связи для обнаружения средством разведки комплекса РЭП.

При этом вероятность энергетической доступности излучений средств связи для обнаружения средствами разведки комплекса РЭП рассчитывается как вероятность превышения излучения средства связи на входе приемника средства разведки комплекса РЭП некоторого порогового значения, определяемого чувствительностью приемника средства разведки комплекса РЭП [3]:

$$P_{\text{обн}} = \int_{P_{\text{то}}}^{\infty} w(P_{\text{тс}}) dP_{\text{тс}}, \quad (5)$$

где  $w(P_{\text{тс}})$  – плотность вероятности распределения уровня излучения средства связи  $P_{\text{тс}}$  на входе приемника средства разведки комплекса РЭП;  $P_{\text{то}}$  – уровень чувствительности приемника средства разведки комплекса РЭП.

Коэффициент устойчивости радиолинии к воздействию преднамеренных помех определяется энергетической доступностью средств связи средствам подавления комплекса РЭП:

$$K_{\text{пу}} = 1 - P_{\text{пд}}, \quad (6)$$

где  $P_{\text{пд}}$  – вероятность энергетической доступности средств связи средству подавления комплекса РЭП.

При этом вероятность энергетической доступности средств связи средствам подавления комплекса РЭП рассчитывается как вероятность превышения преднамеренной помехой, создаваемой на входе приемника средства связи средством РЭП, некоторого порогового значения, определяемого уровнем полезного сигнала и защитным отношением «сигнал/помеха» на входе приемника средства связи [3]:

$$P_{\text{обн}} = \int_{P_{rs}+Q_z}^{\infty} w(P_{rp})dP_{rp}, \quad (7)$$

где  $w(P_{rp})$  – плотность вероятности распределения уровня помехи  $P_{rp}$ , создаваемой средством РЭП на входе приемника средства связи;  $P_{rs}$  – уровень полезного сигнала на входе приемника средства связи;  $Q_z$  – защитное отношение сигнал/помеха.

Соотношения (3)–(7) позволяют определять показатель помехозащищенности (устойчивости) линий связи для различных уровней полезных сигналов и соответствующих им дистанций связи между узлами связи в условиях воздействия преднамеренных помех.

Огневое воздействие противника и техническая надежность средств связи определяют устойчивость функционирования узлов связи (коммутации), которую предлагается рассчитывать на основе выражения

$$K_{\text{уст. ус}} = K_{\text{ог}} \cdot P_{\text{жив}},$$

где  $K_{\text{ог}}$  – коэффициент оперативной готовности средств связи, входящих в состав узла связи (узла коммутации);  $P_{\text{жив}}$  – вероятность выживания узла связи в условиях воздействия на его элементы различных видов оружия противника (живучесть).

Живучесть узла связи рассматривается через вероятность поражения  $P_{\text{пораж } l}$  входящих в его состав  $L$  элементов (средств и комплексов связи) в случае огневого воздействия противника:

$$P_{\text{жив}} = 1 - \prod_{l=1}^L P_{\text{пораж } l}.$$

Вероятность поражения  $l$ -го элемента (средства) узла связи в случае огневого воздействия противника определяется выражением [3]:

$$P_{\text{пораж } l} = P_{\text{вскр}} \cdot P_{\text{пр. реш}} \cdot P_{\text{дост}} \cdot P_{\text{физ. пораж } l}, \quad (8)$$

где  $P_{\text{вскр}}$  – вероятность вскрытия узла связи средствами разведки противника;  $P_{\text{пр. реш}}$  – вероятность принятия решения на поражение обнаруженного и распознанного узла связи;  $P_{\text{дост}}$  – вероятность доставки носителя боеприпаса в район цели (район размещения узла связи);  $P_{\text{физ. пораж } l}$  – вероятность физического поражения цели ( $l$ -го элемента узла связи) с учетом



выполнения инженерных мероприятий по защите узла связи от огневого воздействия противника.

Выражение (8) показывает, что живучесть узла связи напрямую зависит от его разведзащищенности, как способности противостоять вскрытию средствами разведки противника.

Коэффициент оперативной готовности является показателем эксплуатационной надежности средств связи, входящих в состав узла связи, и используется для прогнозирования безотказной работы средств узла связи в течение заданного промежутка времени  $\Delta t$ :

$$K_{\text{ор}} = K_{\text{гсс}} \cdot P_{\text{бo}},$$

где  $P_{\text{бo}} = \exp\left(-\frac{\Delta t}{T_0}\right)$  – вероятность безотказной работы средств связи за промежуток времени  $\Delta t$ ;  $T_0$  – наработка на отказ рассматриваемого средства связи;  $K_{\text{гсс}}$  – коэффициент готовности средств узла связи к передаче информации, который зависит от наличия на узле связи свободных средств, позволяющих обеспечить информационный обмен.

Коэффициент готовности средств узла связи к передаче информации за период времени  $\Delta t$  определяется в соответствии с первой формулой Эрланга [4]:

$$K_{\text{гсс}} = 1 - \left[ \frac{(\Delta t)^L}{L!} \sum_{k=0}^L \frac{(\Delta t)^k}{k!} \right].$$

Таким образом, для оценки вероятности своевременной доставки пакета в системе связи специального назначения в условиях воздействия дестабилизирующих факторов, в первую очередь противника, необходимо рассчитать устойчивость направления связи (маршрута), по которому передается пакет. Для расчета устойчивости направления связи необходимо знать устойчивость составляющих маршрут доставки пакета узлов и линий связи.

Предлагаемая методика оценки показателей своевременности доставки пакета учитывает, как внутренние параметры системы связи, которые зависят от характеристик используемого оборудования, так и от параметров внешней среды, характеризующих условия функционирования системы связи специального назначения, в том числе воздействие вероятного противника.

#### Список используемых источников

1. ОТТ 2.1.200-2010. Общие тактико-технические требования к системам военной связи. М.: 16 ЦНИИС, 2010. 41 с.
2. Гольдштейн Б. С., Соколов Н. А., Яновский Г. Г. Сети связи: учебник для вузов. СПб.: БХВ-Петербург, 2011. 400 с.

3. Боговик А. В., Игнатов В. В. Эффективность систем военной связи и методы ее оценки. СПб.: ВАС, 2006. 184 с.

4. Лившиц Б. С., Пшеничников А. П., Харкевич А. Д. Теория телетрафика: учебник для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Связь, 1979. 224 с.

*Статья представлена научным руководителем, доктором технических наук, профессором А. В. Мякотиним.*

УДК 004.7

## ПОСТРОЕНИЯ СЕТЕЙ СВЯЗИ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ КАК ПРОГРАММНО-КОНФИГУРИРУЕМЫХ СЕТЕЙ

**К. Н. Киселев, Н. А. Хмелляр, С. А. Шинкарев**

Военная академия связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного

*В настоящее время состояние инфотелекоммуникационных сетей показывает, что возможности традиционных технологий практически исчерпаны. Одним из вариантов развития инфотелекоммуникационных сетей является переход на концепцию программно-конфигурируемых сетей. Программно-конфигурируемый подход предлагает разделить уровень управления и уровень передачи данных путем переноса функций управления на отдельное устройство (контроллер).*

*программно-конфигурируемые сети, ПКС, сети связи специального назначения.*

Основной задачей сетей связи специального назначения является обеспечение устойчивой связи в интересах органов государственного управления, обороны страны, безопасности государства и обеспечения правопорядка, как в мирное, так и в военное время. Для решения этой задачи необходимо, чтобы сети связи обладали достаточной пропускной способностью и производительностью.

Согласно исследованиям, в 2016 г. объем глобального интернет-трафика вырос более чем в четыре раза за период 2009–2016 гг. Основным фактором роста стал видео-трафик. К 2016 г. его доля превысила 60 % в глобальном пользовательском интернет-трафике [1]. Похожая ситуация наблюдается и в сетях связи специального назначения, использование видеоконференцсвязи, передача видео беспилотными летательными аппаратами и многое другое, что требует визуализацию. Все это приводит к увеличению объемов передаваемого трафика и предъявляет новые требования

к его передачи, а именно к маршрутизации, конфигурации сетей и управления потоками в ней.

Одним из вариантов решения указанных выше проблем является переход на концепцию программно-конфигурируемых сетей (ПКС) (рис. 1).

*Программно-конфигурируемая сеть (ПКС)* – это новый подход к построению архитектуры сетей связи, при котором уровень управления сетью и уровень передачи данных разделяются за счет переноса функций на отдельное центральное устройство, называемое контроллером [2].

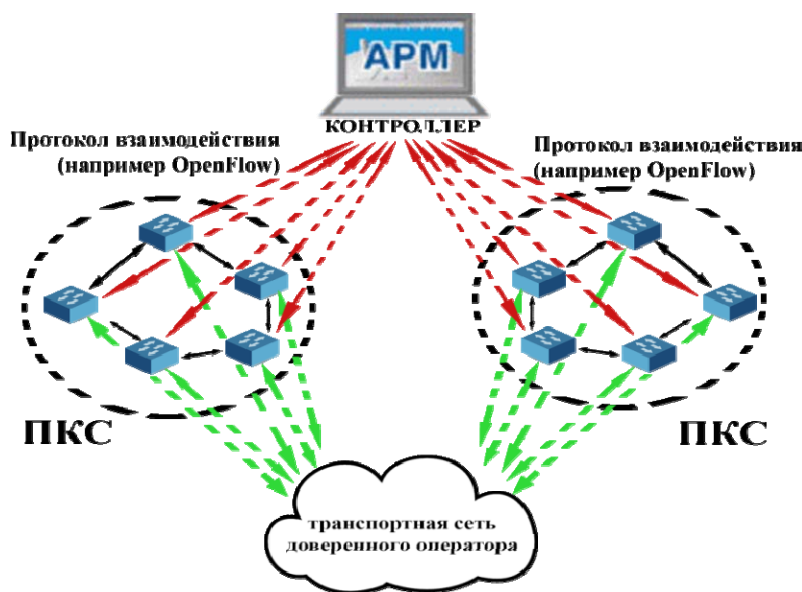


Рис. 1. Структура ПКС

В архитектуре ПКС выделяется три уровня (рис. 2):

- инфраструктурный уровень, предоставляющий набор сетевых устройств (коммутаторов и каналов передачи данных);
- уровень управления, включающий в себя сетевую операционную систему с установленными поверх нее сетевыми приложениями, которые обеспечивают сетевые сервисы и программный интерфейс для управления сетевыми устройствами и сетью;
- уровень приложений для гибкого и эффективного управления сетью.

По сравнению с традиционными сетями, данный подход дает следующие преимущества:

- Программируемость и гибкость управления сетью, упрощение управления сетью и ее модификации за счет создания новых приложений или изменения существующих, автоматизация управления сетями.

– Адаптивность управления сетью, возможность изменять состояние сети в режиме реального времени с учетом изменяющихся условий функционирования.

– Упрощение структуры и логики сетевых устройств, поскольку теперь им не требуется обрабатывать огромное количество стандартов и протоколов, а достаточно выполнять только инструкции, полученные от контроллера.

– Снижение стоимости сетевой инфраструктуры в целом связанное с удешевлением модернизации системы и уменьшением энергопотребления [3].

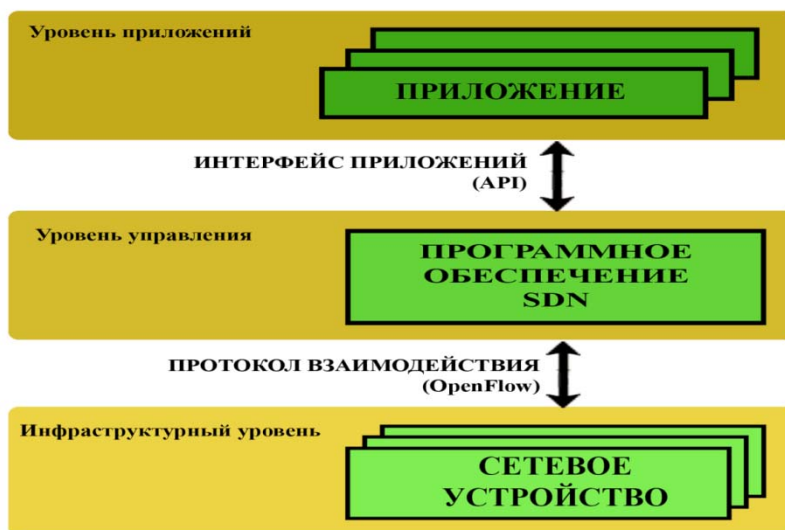


Рис. 2. Архитектура ПКС

Основой концепции ПКС является:

– разделение процессов передачи и управления данными (за счет снятия с коммутаторов нагрузки по управлению данными эти устройства направят все свои мощности на ускорение перемещения трафика, что повысит производительность);

– единый, унифицированный, независимый от поставщика интерфейс между уровнем управления и уровнем передачи данных (при использовании протокола взаимодействия между сетевыми устройствами и программно-конфигурируемой сети решается проблема зависимости от сетевого оборудования какого-либо конкретного поставщика, поскольку используется общие абстракции для пересылки пакетов, которые сетевая операционная система использует для управления сетевыми коммутаторами);

– логически централизованное управление сетью, осуществляемое с помощью контроллера с установленной сетевой операционной системой и реализованными поверх сетевыми приложениями (логически-централи-

зованное управление данными в сети предполагает вынесение всех функций управления сетью на отдельный физический сервер, называемый контроллером, который находится в ведении администратора сети).

В настоящее время ПКС строятся на базе специальных коммутаторов, реализующих только функции передачи данных, для управления которыми используют протоколы взаимодействия, например, в настоящее время используется протокол OpenFlow.

Таким образом, концепция ПКС для построения сетей связи специального назначения (СССН) является перспективным направлением в развитии сетевых технологий. Использование данного подхода позволит повысить производительность и масштабируемость сетей, упростить управления и снизить затраты на оборудование и сетевые приложения. Поэтому необходима дальнейшая оценка целесообразности и эффективности использования данного подхода в построении СССРН как ПКС с учетом требований, предъявляемых к достоверности, своевременности и безопасности связи, потому что на данный момент основными производителями сетевого оборудования являются западные вендоры (Cisco, HP), что накладывает определенные трудности.

#### Список используемых источников

1. <http://www.cisco.com/> (дата обращения 28.01.17).
2. Коломеец А. Е., Сурков Л. В. Программно-конфигурируемые сети на базе протокола OpenFlow // Инженерный вестник. 2014. № 5. С. 519–524.
3. <http://www.osp.ru/> (дата обращения 24.10.16).

УДК 621.396.49

## МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ ИЗМЕНЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ УСТОЙЧИВОСТИ РАДИОРЕЛЕЙНЫХ ЛИНИЙ, ВЫЗВАННЫХ ДВИЖЕНИЕМ СТАНЦИЙ

**Е. С. Коробков, Д. А. Лянгузов, В. К. Снежко, С. А. Якушенко**

Военная академия связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного

*Статья посвящена исследованию изменений параметров устойчивости радиорелейных и радионавигационных линий, вызванных движением станций корреспондентов в сложных физико-географических условиях. В качестве метода исследования используется имитационное моделирование на базе пакета Matlab R2012a. В статье приведены результаты оценки изменений параметров устойчивости на основе рекомендации МСЭ-R P.681-8 (07/2015). Полученные результаты могут использоваться*

*при прогнозировании пригодности интервалов радиолиний многоканальной радиосвязи в условиях движения станций корреспондентов, а также для выбора частотного диапазона и способа организации подвижной радиосвязи.*

*радиорелейная связь, радионавигационная линия, замирения, устойчивость радиорелейных линий связи, оценка пригодности интервалов радиосвязи.*

### *Введение*

Ключевую роль в повышении эффективности войск и боевого потенциала вооружения играет система связи ВС РФ. Анализ современных войн и военных конфликтов показывает, что противоборствующие стороны широко применяют перспективные технологии в области телекоммуникации, навигации и управления. При этом роль системы связи при управлении группировками войск (сил) существенно возрастает при интеграции этих технологий. Именно интеграция технологий в системе управления должна обеспечить быстрое реагирование на изменяющуюся обстановку, структуру сети, способы ее построения и режимы функционирования [1].

### *Особенности организации связи в современных условиях*

Для обеспечения управления в условиях боевых действий или чрезвычайных ситуаций на территориях с разрушенной инфраструктурой, стационарной системой связи или не оборудованных в отношении связи районах применяется полевая система связи [2].

Учитывая разнообразие форм рельефа местности и климатических условий, а также весь спектр задач, становится очевидным, что ни один из используемых в практике способов организации связи в полной мере не обеспечивает выполнение предъявляемых современными условиями требований. Одним из путей решения данной проблемы является интеграция родов и средств на подвижном объекте (ПО), объединенных общей задачей применения. Рассмотрим совместное использование радиорелейных средств и средств спутниковой навигации, которые образуют единый комплекс многоканальной подвижной радиосвязи. В комплексе применяются остронаправленные антенны с возможностью их ориентирования на корреспондента по навигационным данным, что повышает энергетику радиолинии и обеспечивает высокую разведзащищенность и помехозащищенность линии при организации многоканальной радиосвязи в движении [2, 3, 4].

Очевидно, что в таких условиях возникают дополнительные замирения радиоволн в точке приема, вызванные влиянием изменяющегося характера рельефа, растительности и т.п., находящихся в зоне распространения радиоволн. Рассмотрим их глубину в зависимости от топологических параметров рельефа местности и используемых диапазонов частот радиолинии.

*Параметры оценки степени пригодности РРЛ*

Прогнозирование пригодности интервала связи при движении станций должно учитывать возникающие при этом замирания в течении сеанса связи. Основными параметрами, позволяющими оценить степень пригодности интервала с точки зрения обеспечения устойчивого и непрерывного управления являются [5]: эффективная излучаемая мощность передатчика; номинал несущей частоты; высота подвеса антенны станции (ретранслятора); параметры пересеченности местности и т. п. Параметры позволяют определить среднее значения амплитуды огибающей сигнала в точке приема.

*Методики расчета глубины замираний на интервале связи*

Существует ряд моделей, предназначенных для расчета глубины замираний на интервале связи: методика расчета электромагнитной совместимости радиорелейных линий прямой видимости, беспроводного радиодоступа и систем сухопутной подвижной службы в полосах частот совместного использования; методика расчета электромагнитной совместимости земных станций фиксированной спутниковой службы и радиорелейных станций фиксированной службы гражданского назначения в полосах частот совместного использования от 1 ГГц до 40 ГГц; методика расчета трасс цифровых РРЛ прямой видимости в диапазоне частот 2–20 ГГц и др. [5, 6, 7].

В результате поиска была выбрана методик, приведенная в [7], которая учитывает ослабление сигнала при затенении придорожными деревьями, что характерно для полевых интервалов связи.

*Расчет замираний по длине интервала связи*

Согласно методике данной модели, на начальном этапе необходимо произвести расчет замираний на частоте 1,5 ГГц, при прохождении от 1 % до 20 % длины интервала связи. Зависимость глубины замираний  $W_3(p, \theta)$  на интервале связи, вызванная затенением придорожными деревьями описывается функцией двух аргументов – угла места и процента пройденного расстояния на интервале связи [7].

$$W_3(p, \theta) = -M(\theta) \ln(p) + N(\theta),$$

где  $p$  – процент пройденного расстояния, на котором превышает названный уровень замирания [%];  $\theta$  – угол места трассы по отношению к корреспонденту [град];  $M(\theta) = 3,44 + 0,0975\theta - 0,002\theta^2$ ;  $N(\theta) = -0,002\theta^2 + 34,76$ .

Расчет проведем для углов места от  $0^\circ$  до  $15^\circ$  для радиорелейных линий связи и от  $5^\circ$  до  $90^\circ$  для радионавигационных линий. Это связано со спецификой организации радиосвязи и возможностями антенно-

мачтовых устройств современных средств. Результаты расчета глубины замираний для радиолиний многоканальной радиосвязи приведены на рис. 1.

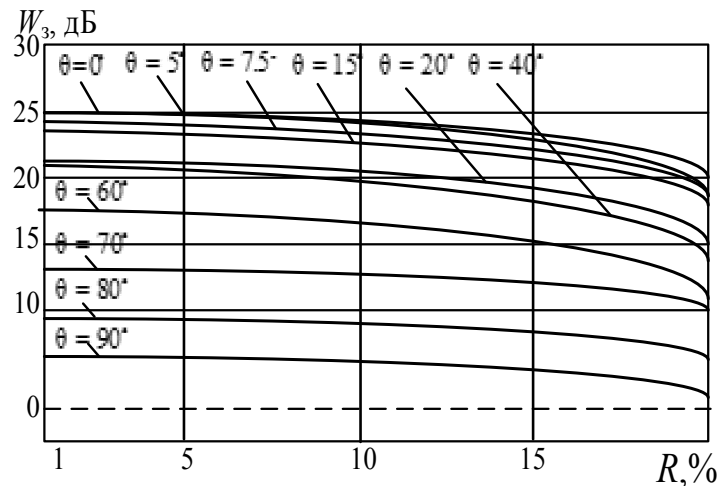


Рис. 1. Зависимость глубины замираний на частоте 1,5 ГГц при различных процентах пройденного расстояния и углах места трассы

Согласно расчетам, проведенным на данном этапе работы можно сделать вывод о том, что в общем случае замирания сигнала на частоте 1,5 МГц имеют как угловую, так и линейную зависимость от угла места и процента пройденного расстояния соответственно. Минимальное значение уровня глубины замираний сигнала достигается при угле места  $\theta = 90^\circ$  конце пройденного пути. С уменьшением значения угла места величина уровня замираний сигнала возрастает и достигает максимума при нулевом значении, что объясняется максимальным влиянием рельефа и растительного покрова деревьев на трассе связи.

Средства многоканальной радиосвязи работают в разных диапазонах, поэтому рассчитаем глубину замираний в зависимости от рабочей частоты радиолинии. Для расчета замираний  $W_3(p, \theta, f)$  на требуемой частоте  $f$  необходимо преобразовать распределение замираний, полученное для частоты 1,5 МГц и справедливое при  $20\% < p < 1\%$ , в соответствующее распределение на расчетной частоте  $f$  (ГГц) в диапазоне от 0,6 ГГц до 8 ГГц [7]:

$$W_{3f}(p, \theta, f) = W_3(p, \theta) \exp \left\{ 1,5 \left( \frac{1}{\sqrt{1,5f}} - \frac{1}{\sqrt{f}} \right) \right\},$$

где  $f$  – значение рабочей частоты радиолинии [ГГц].

Расчет частотной зависимости замираний проведем на наихудший случай, т. е. для углов места от 0 до  $15^\circ$ . Результаты расчета замираний для радиолиний многоканальной радиосвязи приведены на рис. 2.



Согласно графическим представлениям зависимости величины глубины замираний от угла места и процента пройденного расстояния, можно сделать вывод о частотной зависимости величины замираний (селективности замираний). Минимальное значение  $W_3(20, 7, 0,6) = 5$  дБ достигается на частоте  $f = 0,6$  ГГц, максимальное  $W_3(0, 7, 8) = 36$  дБ на частоте  $f = 8$  ГГц.

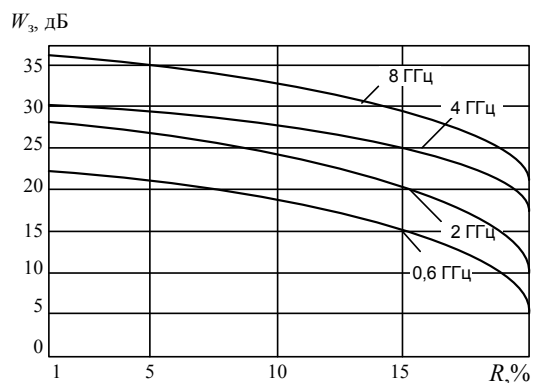


Рис. 2. Зависимость глубины замираний на рабочих частотах РС при различных процентах пройденного расстояния и  $\theta = 7^\circ$

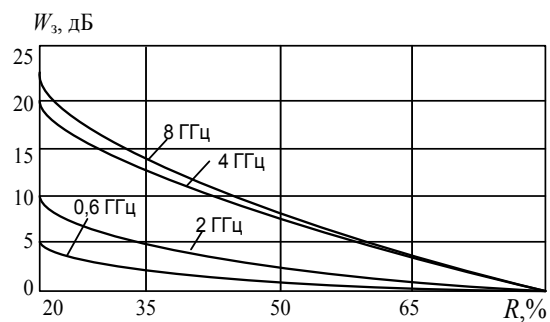


Рис. 3. Зависимость глубины замираний на рабочих частотах при различных процентах пройденного расстояния и  $\theta = 7^\circ$

Оценка величины уровня глубины замираний для процентов пройденных расстояний от 20% до 80% проедем по формуле [7]:

$$W_3(p, \theta, f) = W_3(20, \theta, f) \frac{1}{\ln 4} \ln \left\{ \frac{80}{p} \right\},$$

где  $W_3(20, \theta, f)$  – величина замираний для  $p = 20$  %.

Результаты расчета замираний на интервале многоканальной радиосвязи приведены на рис. 3. Для пройденного расстояния от 20 до 80 % зависимость величины глубины замираний имеет сложную зависимость. При сокращении длины интервала  $W_3(p, \theta, f) \rightarrow 0$ , однако с увеличением частоты глубина замираний растет.

### Выводы и рекомендации

1. На основе эмпирической модели, соответствующей усредненным условиям распространения радиоволн диапазона 0,6...8 ГГц, получены распределения замираний, вызванных затенением листовым покровом деревьев, при пройденном расстоянии от 1 до 80% длины интервала связи и углах места трассы от  $0^\circ$  до  $90^\circ$ .

2. Согласно результатам моделирования, наименьшему влиянию подвержены спутниковые радионавигационные линии связи с углами места  $90^\circ$ , наибольшему – радиорелейные линии с  $\theta = 0^\circ$ .

3. Согласно данным исследования замирания имеют частотную зависимость, подтверждая свой интерференционный характер.

### *Заключение*

Проведенное в настоящей работе имитационное моделирование изменения параметров устойчивости радиолиний многоканальной радиосвязи, вызванных движением ПО на основе пакета Matlab R2012a показало частотную и угловую зависимость величины уровня замираний сигнала, а также характер его изменения на протяжении интервала связи.

Наименьший уровень замираний за счет затенения лиственным покровом леса наблюдается на частотах диапазона 0,6–8 ГГц. Поэтому рекомендуется выбирать средства многоканальной радиосвязи для организации управления в движении дециметрового диапазона частот.

В реальных условиях уровень замираний, вне зависимости от частоты и угла места, будет носить более сложный и вероятностный характер, что требует дополнительных исследований.

Приведенные в работе результаты оценки замираний можно использовать при выборе диапазонов частот, способов организации многоканальной радиосвязи и прогнозирования пригодности интервалов при проектировании интегрированных средств связи и навигации в интересах управления в движении.

### **Список используемых источников**

1. Малюков В. А. Перспективы развития войск связи в новой организационно-штатной структуре Вооруженных Сил Российской Федерации [Электронный ресурс] // Связь в Вооруженных Силах Российской Федерации – 2011. С. 12–14. URL: <http://www.army.informost.ru/2011/arxiv/1-3.pdf>
2. Якушенко С. А., Сазонов М. А., Бибарсов М. Р. Радиорелейные и спутниковые систем передачи специального назначения. Часть 1: учебник. в 2-ух частях / Под ред. С. А. Якушенко. СПб: ВАС, 2016. 486 с.
3. Снежко В. К., Якушенко С. А. Военные интегрированные системы навигации, связи и управления. Учебник для вузов связи. СПб: ВАС, 2014.
4. Якушенко С. А. Навигационная аппаратура потребителя в многоканальной радиосвязи // Междунар. научн. изд. Сб. науч. тр. SWorld. Выпуск 4. Том 7. Одесса: СВ, 2013.
5. Якушенко С. А., Бондаренко С. А., Жирнов А. И. Проектирование цифровых радиолиний микроволнового диапазона: учеб. пос. СПб.: ВАС, 2014. 118 с.
6. Рекомендация МСЭ-РР.833-5(02/2012) Ослабление сигналов растительностью. Серия Р. Распространение радиоволн.
7. Рекомендация МСЭ-Р Р.681-8 (07/2015) Данные о распространении радиоволн, необходимые для проектирования сухопутных подвижных систем связи Земля-космос. Серия Р. Распространение радиоволн.

УДК 004.056.53

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РЕАЛИЗАЦИИ АТАКИ «ОТКАЗ В ОБСЛУЖИВАНИИ»

**М. С. Корчагин, А. К. Сагдеев, Ю. А. Фролова**

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

*SYN-flood атаки осуществляются против серверов, задача этих атак – это отказ в обслуживании. Представим данную атаку при помощи модели Петри-Маркова. Рассмотрим, существующие четыре способа противодействия атаке использование межсетевого экрана, использование механизма SYN-cookies, уменьшение времени ожидания ответов, увеличение очереди запросов.*

*SYN-flood, отказ в обслуживании, модель Петри-Маркова.*

Выполнение каждого протокола включает в себя ожидание ответа. Если пользователь не получает долгое время сообщения ответа, можно повторно отправить последнее сообщение. Самый простой способ реализации времени ожидания – посылка состоянию протокола сообщения об истекшем времени. Один самых распространенных типов атак – это отправка на конкретный компьютер сообщений типа «начало протокола», система при получении сообщения подобного инициирует состояние выполнения протокола. Через несколько миллионов подобных сообщений у компьютера заканчивается память, и система «зависает» [1, 2, 3].

В данной статье рассмотрим один из примеров подобной атаки SYN-flood attack.

SYN-flood attack (синхронные атаки) осуществляются против серверов, задача этих атак – это отказ в обслуживании. Осуществляется это следующим образом: злоумышленник отправляет множество SYN-пакетов на хост по порту сервера, который он хочет приостановить в обслуживании с помощью произвольных IP-адресов. При установлении TCP-соединения, целевой хост отвечает на запросы SYN-АСК пакетами, резервирует место в буфере под соединения и ждет ответного АСК- пакета.

Пакет – подтверждение передается на ложный адрес. В итоге, при передаче большого потока SYN-запросов, хост будет держать буфер в ожидании получения ответного пакета и не сможет обработать сообщения от легальных пользователей.

Представим данную ситуацию при помощи модели Петри-Маркова (рис. 1).  $s_1$  – хост готов,  $t_1$  – запуск и настройка программы для SYN-flood,  $s_2$  – А готов принять пакеты,  $s_3$  – программа готова,  $t_2$  – отправка пакетов,  $s_4$  – запросы поставлены в очередь ожидаемых соединений А,  $t_3$  –

переполнение очереди А,  $s_5 - A$  не в состоянии обрабатывать другие запросы. Матрица сети выглядит следующим образом (рис. 2).

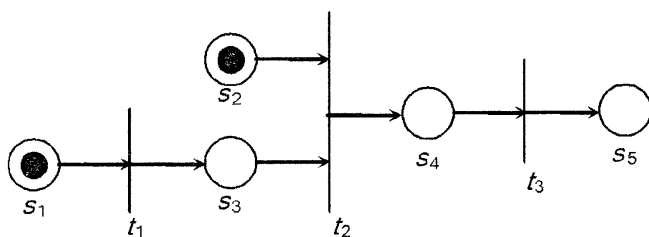


Рис. 1. Вид сети Петри-Маркова для атаки SYN-flood

$$V_{s_1 t_3} =$$

	$t_1$	$t_2$	$t_3$
$s_1$	1	0	0
$s_2$	0	1	0
$s_3$	1	1	0
$s_4$	0	$s_1 t_2 \cap s_3 t_2$	1
$s_5$	0	0	1

Рис. 2. Элементы матрицы сети

Система уравнений для данной сети:

$$\begin{aligned} \Phi_{s_1 t_1}(t) &= \pi_{11} \int_0^t f_{s_1 t_1}(\tau) d\tau, \\ \Phi_{s_2 t_2}(t) &= \pi_{22} \int_0^t f_{s_2 t_2}(\tau) d\tau, \\ \Phi_{s_3 t_2}(t) &= \pi_{32} \int_0^t f_{s_3 t_2}(\tau) \Phi_{s_1 t_1}(t - \tau) d\tau, \\ \Phi_1(t) &= \int_0^t f_{s_2 t_2}(\tau) \Phi_{s_3 t_2}(\tau) + f_{s_3 t_2}(\tau) \Phi_{s_2 t_2}(\tau) d\tau, \\ \Phi_{s_4 t_3}(t) &= \pi_{43} \int_0^t f_{s_4 t_3}(\tau) \Phi_1(t - \tau) d\tau. \end{aligned}$$

Применив пуассоновское приближение, получаем следующие равенства:

$$\begin{aligned} \tau_{32} &= nT, \\ \tau_1 &= \tau_{11} + \tau_{32}, \\ \tau_2 &= \frac{\tau_1^2 + \tau_1 \tau_{22} + \tau_{22}^2}{\tau_1 + \tau_{22}}, \\ \tau &= \tau_2 + \tau_{43}, \\ \tau &= \frac{(nT + \tau_{11})^2 + (nT + \tau_{11}) \tau_{22} + \tau_{22}^2}{(nT + \tau_{11}) + \tau_{22}} + \tau_{43}, \end{aligned}$$

где  $\tau_{11} = 11c$  – среднее время настройки программы,  $S = 10$  – размер очереди соединений,  $T_c = 75c$  – среднее время ожидания соединения,  $R = 100$  – число SYN-пакетов, поступивших в очередь ожидания за секунду. Следовательно, хакеру(злоумышленнику) необходимо повторить передачу пакета  $n = 10$  раз, а в среднем время, затраченное на отправку, постановку на учет и ожидание пакета  $T_n = 0,015$  с.

Если не применять меры защиты данных, то время перехода хоста, подверженного атаке, в недоступное состояние стремится к нулю:  $\tau_{32} \rightarrow 0$ . Значит, среднее время по всей сети равно:  $\tau = 11,15$  с (рис. 3).

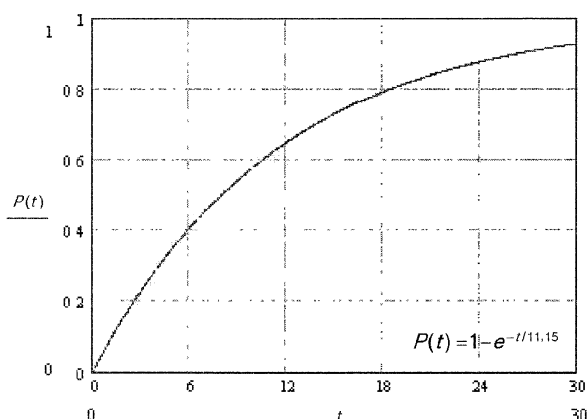


Рис. 3. Зависимость реализации атаки от времени

Важно отметить, что зависимость учитывает этап запуска и настройки программы, который занимает большее среднее время, чем все остальные.

Рассмотрим, существующие меры противодействия атаке:

1. Использование межсетевого экрана.

Во время прихода SYN-пакета извне, экран не пропускает его во внутреннюю сеть, а сам отвечает на него от имени сервера назначения. В том случае, ес-

ли соединение установилось все же, то экран создает соединение от имени клиента, и далее выступает в качестве невидимого посредника, о существовании которого клиент и сервер не догадываются. Когда ответ на SYN-ACK-пакет не был получен, то оригинальный пакет отправлен в сеть не будет. Использование межсетевого экрана приводит к уменьшению вероятности  $\pi_{22}$  перехода  $d_{32}$ .

2. Использование механизма SYN-cookies.

Для легитимных соединений хост недоступен, даже если переполнена очередь ожидания, защищаемый хост неуязвим к атаке. Вероятность перехода  $d_{11}$  стремится к нулю.

3. Уменьшение времени ожидания ответов.

Если уменьшить очередь ожидания ответов до 10 с,  $n = 10,1$  – это не меняет возможность реализации атаки при данном размере очереди и интенсивности.

4. Увеличение очереди запросов.

Для успешной реализации атаки интенсивность запросов должна иметь такое значение, при котором очередь до истечения срока ожидания заполнится, после пакеты будут удаляться с такой же частотой. Для размера очереди  $S = 65000$ , интенсивности  $R = 1000$ , среднее время реализации атаки  $\tau = 88$  с, а график отношения будет следующим (рис. 4).

Время и вероятность реализации атаки определяется ресурсами системы при динамическом увеличении очереди запросов. При наличии на хосте серверной ОС есть вероятность поддерживать ожидание достаточно большого количества соединений.

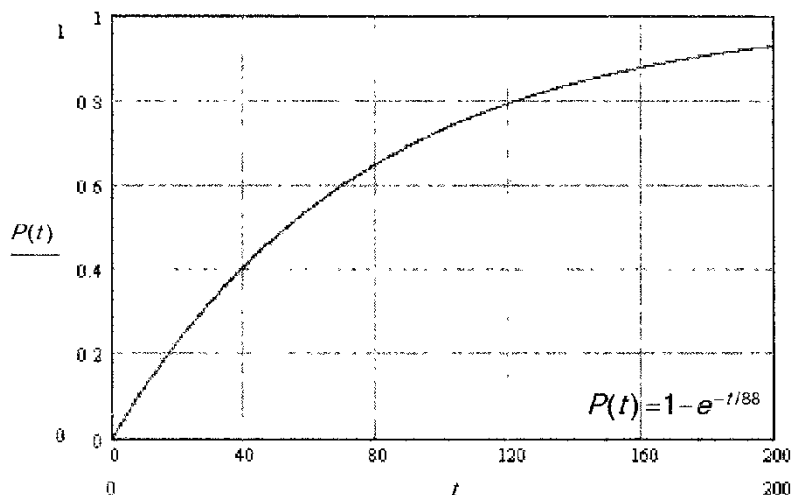


Рис 4. Зависимость времени реализации атаки при увеличенной очереди ожидания соединений и интенсивности запросов 1000 раз в секунду

#### Список используемых источников

1. Фергюсон Нильс, Шнайер Брюс. Практическая криптография; пер. с англ. М.: Вильямс, 2004. 432 с.
2. Радько Н. М. Скобелев И. О. Риск-модели информационно-телекоммуникационных систем при реализации угроз удаленного и непосредственного доступа. М.: Радио Софт, 2010. 232 с.
3. Закалкин П. В., Сагдеев А. К., Стародубцев Ю. И., Сухорукова Е. В. Проблема формирования системы динамической защиты государственных информационных систем // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. V Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сб. науч. ст. в 3 т. / под ред. С.В. Бачевского. СПб.: СПбГУТ, 2016. 550 с.

УДК 004.056.53

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ РЕАЛИЗАЦИИ ВНЕДРЕНИЯ В СЕТЬ ЛОЖНОГО ОБЪЕКТА

**М. С. Корчагин, А. К. Сагдеев, Ю. А. Фролова**

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

*Внедрение в сеть ложного объекта на основе недостатков алгоритма удаленного поиска (ARP-spoofing). Существующие вероятностные характеристики реализации с учетом мер противодействия Внедрение в сеть ложного объекта путем навязывания ложного маршрута. Существующие вероятностные характеристики реализации с учетом мер противодействия.*

ARP-spoofing, сеть Петри-Маркова, MAC-адрес.

Рассмотрим два случая реализации внедрения в сеть ложного объекта.

1. Внедрение в сеть ложного объекта на основе недостатков алгоритма удаленного поиска (ARP-spoofing).

Перед атакой злоумышленник настраивает приложения для сканирования на соответствие адресов MAC, IP. Затем настраивает параметры программы для того, чтобы перехватить трафик, потом следует подмена таблиц MAC-адресов, после подключения к удаленному компьютеру следует перехват логина и пароля [1, 2].

Представим данную ситуацию с помощью сети Петри-Маркова. Элементы следующие (рис. 1, 2):  $s_1$  – А формирует широковещательный ARP-запрос;  $s_2$  – С находится внутри сегмента хоста А;  $t_1$  – подготовка к проведению атаки;  $s_3$  – С готов к атаке;  $t_2$  – отправка ложного ARP-ответа;  $s_4$  – сложный ARP-ответ принят А;  $t_3$  – изменение ARP-таблицы А;  $s_5$  – ARP-таблица А изменена;  $t_4$  – перехват и анализ трафика А;  $s_6$  – трафик перехвачен.

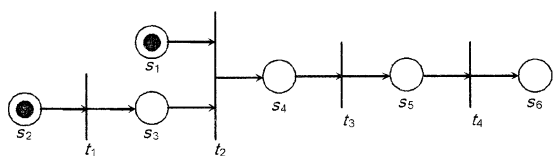


Рис. 1. Вид сети Петри-Маркова для атаки «ARP-спуфинг»

	$t_1$	$t_2$	$t_3$	$t_4$
$s_1$	0	1	0	0
$s_2$	1	0	0	0
$s_3$	0	1	0	0
$s_4$	0	$s_1 t_2 \cap s_3 t_2$	1	0
$s_5$	0	0	1	1
$s_6$	0	0	0	1

Рис. 2. Элементы матрицы для данной сети

Применим пуассоновское приближение, зная системы дифференциально-интегрированных уравнений для данной сети, получим среднее время  $\tau$  по сети Петри-Маркова из начальной позиции до конечного перехода и вероятность перемещения:

$$\begin{aligned} \tau_1 &= \tau_{21} + \tau_{32}, \\ \tau_2 &= \frac{\tau_{12}^2 + \tau_{12}\tau_1 + \tau_1^2}{\tau_{12} + \tau_1}, \\ \tau_3 &= \tau_2 + \tau_{43} + \tau_{54}, \\ \tau &= \frac{\tau_{12}^2 + \tau_{12}(\tau_{21} + \tau_{32}) + (\tau_{21} + \tau_{32})^2}{\tau_{12} + \tau_{21} - \tau_{32}} + \tau_{43} + \tau_{54}, \end{aligned}$$

где  $\tau_{21} = 11$  с – среднее время сканирования MAC-адреса и настройка программы для спуфинга;  $\tau_{32} = 0,5$ с – среднее время отправки ARP-ответа;  $\tau_{43} = 1$  с – среднее время обновления таблицы без проведения операции верификации адресов;  $\tau_{54} = 2$  с – среднее время получения хакером

необходимой информации. Следовательно, среднее время перехода по всей сети равно 15,5 с. (рис. 3).

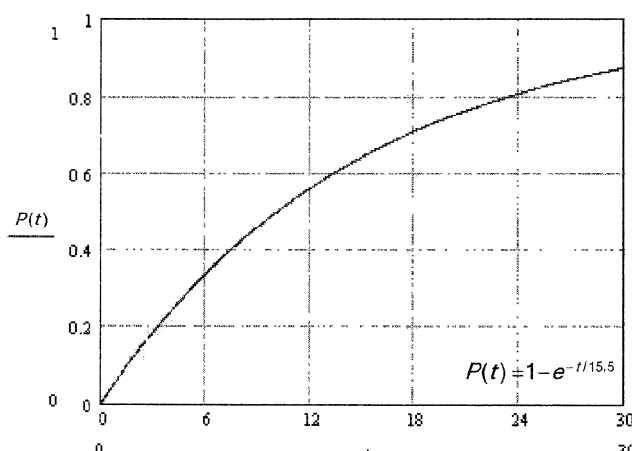


Рис. 3. Зависимость вероятности реализации атаки от времени

Существующие вероятностные характеристики реализации с учетом мер противодействия:

а) Применение статических ARP-таблиц. В качестве меры противодействия данной атаке  $\pi_{11}$  срабатывания перехода  $d_{11}$  равна вероятности нахождения в сети с динамическими ARP-таблицами, что зависит от реализации и предназначения данной сети. Этот вариант не для клиентских хостов.

б) Верификация адресов. Возможна в системе UNIX. Хост опрашивает узлы с указанными IP-адресами при получении ARP-ответа. Изменения вносятся в таблицу не будут, если несколько машин ответят на запрос.

в) Шифрование пакетов. Для данной сети криптозащита влечет стремление среднего времени  $\tau_{54}$  перехода  $d_{54}$  к бесконечности.

2. Внедрение в сеть ложного объекта путем навязывания ложного маршрута.

Для реализации данной атаки необходимо подготовить ложное ICMP Redirect Host сообщение, где указан конечный IP-адрес маршрута и адрес ложного маршрутизатора. Далее сообщение отправляется на атакуемый хост от имени маршрутизатора. Рассмотрим случай, когда цель атаки и атакующий находятся в одном сегменте сети. Атакующий, отправив ложное ICMP-сообщение, он в качестве ложного адреса может указать либо свой адрес, либо любой из адресов данной подсети, таким образом, у злоумышленника есть возможность изменить маршрут отправки сообщений и иметь контроль над трафиком между хостом и сервером, атакуемых им. Далее начинается прием, анализ и передача пакетов данных.

Смоделируем данную сеть с помощью модели Петри-Маркова (рис. 4, 5). Элементы:  $s_1$  – А готов;  $s_2$  – С активен;  $t_1$  – настройка программы;  $s_3$  – программа настроена;  $t_2$  – передача ложных сообщений на А;  $s_4$  – ложное



сообщение принято А;  $t_3$  – изменение таблицы маршрутизации А;  $s_5$  – таблица маршрутизации А изменена;  $t_4$  – перехват и анализ трафика, нарушение маршрутизации для А;  $s_6$  – трафик перехвачен и проанализирован, связь между хостом и сервером нарушена.

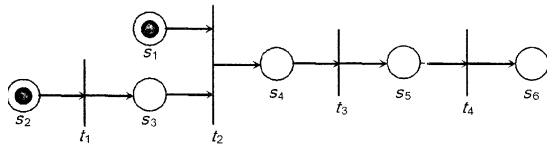


Рис. 4. Вид сети Петри-Маркова для внедрения ложного объекта путем навязывания ложного маршрута

$$V_{s_i, t_j} =$$

	$t_1$	$t_2$	$t_3$	$t_4$
$s_1$	0	1	0	0
$s_2$	1	0	0	0
$s_3$	1	1	0	0
$s_4$	0	$s_1 t_2 \cap s_3 t_2$	1	0
$s_5$	0	0	1	1
$s_6$	0	0	0	1

Рис. 5. Элементы матрицы для данной сети

Используя уравнения для данной сети, применим пуассоновское приближение и получим следующие уравнения:

$$\begin{aligned} \tau_1 &= \tau_{21} + \tau_{32}, \\ \tau_{32} &= nT, \\ \tau_2 &= \frac{\tau_{12}^2 + \tau_{12}\tau_1 + \tau_1^2}{\tau_{12} + \tau_1}, \\ \tau_3 &= \tau_2 + \tau_{43} + \tau_{54}, \\ \tau &= \frac{\tau_{12}^2 + \tau_{12}(\tau_{21} + nT) + (\tau_{21} + nT)^2}{\tau_{12} + \tau_{21} - \tau_{32}} + \tau_{43} + \tau_{54}, \end{aligned}$$

где  $\tau_{21} = 15$  с – среднее время запуска и настройки программы;  $T = 0,05$  с – среднее время формирования и передачи одного ложного сообщения, вероятность подбора неизвестного злоумышленнику внутреннего адреса маршрутизатора равна  $1/254$ , следовательно, среднее число попыток  $n = 254$ .

В отсутствии запрета на прием ICMP-сообщений, хост находится в ожидании. После изменения таблиц трафик хоста А проходит через компьютер хакера. Среднее время получения им информации зависит от интенсивности трафика хоста, подверженного атаке. Для сети достаточно активной  $\tau_{54} = 2$  с.

Существующие вероятностные характеристики реализации с учетом мер противодействия:

1. Статические таблицы маршрутизации, запрет использования ICMP-redirect. В данном подходе существует необходимость поддерживать и вручную обновлять таблицы маршрутизации для сетей, динамически изменяющихся. Способ эффективен только для систем с постоянной топологией. В этом случае  $\pi_{12} \rightarrow 0$ .

2. Шифрование пакетов. В этом подходе злоумышленнику не удастся за определенное время проанализировать содержимое пакетов, а, следовательно, и использовать информацию. Для данной сети криптозащита влечет стремление среднего времени  $\tau_{55}$  перехода  $d_{55}$  к бесконечности.

#### Список используемых источников

1. Радько Н. М. Скобелев И. О. Риск-модели информационно-телекоммуникационных систем при реализации угроз удаленного и непосредственного доступа. М.: Радио Софт, 2010. 232 с.

2. Закалкин П. В., Сагдеев А. К., Стародубцев Ю. И., Сухорукова Е. В. Проблема формирования системы динамической защиты государственных информационных систем // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. V Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сб. науч. ст. в 3 т. / под ред. С.В. Бачевского. СПб.: СПбГУТ, 2016. 550 с.

УДК 004.056.53

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ СЕТЕВОГО АНАЛИЗА

**М. С. Корчагин, А. К. Сагдеев, Ю. А. Фролова**

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

*Сниффинг пакетов в сети без коммутаторов. Данные, полученные с помощью сниффера, могут быть использованы хакером для получения легального доступа к сервисам системы на правах законного пользователя. В статье рассматриваются существующие 3 меры противодействия борьбы с данной атакой. Сканирование сети. До выполнения активных атак злоумышленнику необходимо узнать всю информацию о самой структуре сети и сервисах. В статье моделируется с помощью сети Петри-Маркова сканирование сети.*

*сниффинг, сетевой анализ, сеть Петри-Маркова.*

Активной называется такая атака, при которой оппонент имеет возможность модифицировать передаваемые сообщения и вставлять свои сообщения. Пассивной называется такая атака, при которой оппонент не имеет возможности модифицировать передаваемые сообщения и вставлять в информационный канал между отправителем и получателем свои сообщения. Она является подготовительным этапом при реализации многих активных сетевых атак. Когда вместо коммутаторов в сети установлены концентраторы, то пакеты, полученные рассылаются всем компьютерам в сети, и только после этого компьютеры определяют для кого

этот пакет. Целью пассивной атаки может быть только прослушивание передаваемых сообщений и анализ трафика [1, 2].

Если хакер получит доступ к такой сети или непосредственно к компьютеру, то ему станет доступна вся передаваемая информация в сети, он может также перехватывать пакеты, если вставит сетевую карту в режим прослушивания. Несанкционированное прослушивание и наблюдение за данными сети, с помощью которых хакер получает легальный доступ к сервисам системы на правах законного пользователя, производится с помощью специальной программы – пакетного сниффер.

Смоделируем данную атаку с помощью сети Петри-Маркова. С – хост хакера (злоумышленника), А и В – хосты, подверженные атакам. Элементы сети:  $s_1$  – атакуемые хосты готовы;  $s_2$  – С физически готов к перехвату трафика;  $t_1$  – передача пакета между хостами А и В, перехват пакета;  $s_3$  – пакет перехвачен;  $s_4$  – данные извлечены из пакета (рис. 1).

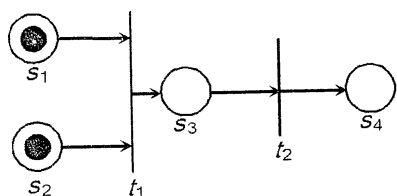


Рис. 1. Вид сети Петри-Маркова для внутрисегментного прослушивания трафика

$$V_{s_1 t_2} = \begin{array}{c|cc} & t_1 & t_2 \\ \hline s_1 & 1 & 0 \\ s_2 & 1 & 0 \\ s_3 & s_1 t_1 \cap s_2 t_1 & 1 \\ s_4 & 0 & 1 \end{array}$$

Рис. 2. Элементы матрицы

В данном примере сети позиции не имеют инцидентные дуги, следовательно, вероятности перемещения из них в переходы равны единице. Матрица представлена на рис. 2.

Полушаг из перехода в позицию срабатывает мгновенно и динамика срабатывания сети может определяться только вероятностями перемещений этой сети, а также плотностями распределения времени нахождения процесса в каждом из процессов. Следовательно, в сети необходимо рассмотреть только процесс перехода из  $s_1$  (начального состояния) в  $t_2$  (конечный переход). Рассмотрим, уравнения для данной сети:

$$\begin{aligned} \Phi_{s_1 t_1}(t) &= \pi_{11} \int_0^t f_{s_1 t_1}(\tau) d\tau, \\ \Phi_{s_2 t_1}(t) &= \pi_{21} \int_0^t f_{s_2 t_1}(\tau) d\tau, \\ \Phi_1(t) &= \int_0^t f_{s_1 t_1}(\tau) \Phi_{s_2 t_1}(\tau) + f_{s_2 t_1}(\tau) \Phi_{s_1 t_1}(\tau) d\tau, \\ \Phi_{s_3 t_2}(t) &= \pi_{32} \int_0^t f_{s_3 t_2}(\tau) \Phi_1(t - \tau) d\tau, \end{aligned}$$

где  $s_i t_j(t)$  – плотность вероятности времени перемещения из состояния  $s_i$  к переходу  $t_j$ ;  $\Phi s_i t_j(t)$  – закон распределения,  $\pi_{ij}$  – вероятность срабатывания перехода.

Применяя пуассоновское приближение, получим среднее время  $\tau$  по сети Петри-Маркова из начальной позиции до конечного перехода и вероятность перемещения:

$$\tau_1 = \frac{\tau_{11}^2 + \tau_{11}\tau_{21} + \tau_{21}^2}{\tau_{11} + \tau_{21}},$$

$$\tau_2 = \tau_1 + \tau_{32},$$

$$\tau = \frac{\tau_{11}^2 + \tau_{11}\tau_{21} + \tau_{21}^2}{\tau_{11} + \tau_{21}} + \tau_{32},$$

$$P(t) = 1 - e^{-\frac{t}{\tau}},$$

где  $\tau_{21} = 11,5$  с (среднее время запуска),  $\tau_{11} = 0,5$  с (среднее время подачи для анализа пакетов),  $\tau_{32} = 0,1$  с (среднее время анализа пакетов). Значит, среднее время перехода по всей сети  $\tau = 11,7$  с (рис. 3).

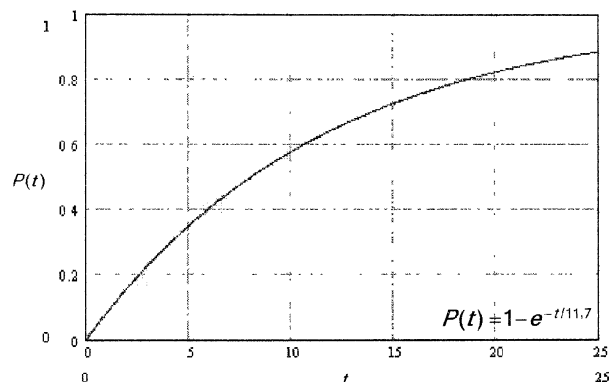


Рис. 3. Зависимость вероятности атаки от времени

До выполнения активных атак злоумышленнику необходимо узнать всю информацию о самой структуре сети и сервисах. Смоделируем с помощью сети Петри-Маркова сканирование сети. После настройки параметров, осуществляется посылка ICMP-эхо-запросов, хостов, IP-адресов в режиме многопоточном. Путем посылки нестандартных пакетов, злоумышленник может определить тип ОС, однако стандарты упускают реакцию на недопустимые входные данные. Следовательно, индивидуальные реакции каждой определенной ОС на нестандартные пакеты формируют сигнатуру, по которой злоумышленник может определить под каким управлением работает данный компьютер. В случае, если хост определен как активный, то определяется наличие работающего сервиса. Результатом данной проверки является выявление наиболее уязвимых компьютеров. Смоделируем данную атаку с помощью модели Петри-Маркова (рис. 4).

$s_1$  – С готов, программа запущена и настроена;  $t_1$  – обнаружение активных хостов сети;  $s_2$  – активные хосты обнаружены;  $t_2$  – определение типов ОС активных хостов сети;  $s_3$  – типы ОС определены;  $t_3$  – сканирование сервисов на активных хостах сети;  $S_4$  – работающие сервисы определены. Матрица представлена на рис. 5.

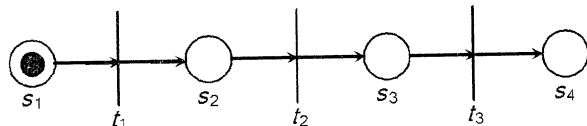


Рис. 4. Вид сети Петри-Маркова для атаки «сканирование сети»

$$V_{s_1 t_3} = \begin{array}{c|ccc} & t_1 & t_2 & t_3 \\ \hline s_1 & 1 & 0 & 0 \\ s_2 & 1 & 1 & 0 \\ s_3 & 0 & 1 & 1 \\ s_4 & 0 & 0 & 1 \end{array}$$

Рис. 5. Элементы матрицы

Система уравнений имеет следующий вид:

$$\begin{aligned} \Phi_{s_1 t_1}(t) &= \pi_{11} \int_0^t f_{s_1 t_1}(\tau) d\tau, \\ \Phi_{s_2 t_2}(t) &= \pi_{22} \int_0^t f_{s_2 t_2}(\tau) \Phi_{s_1 t_1}(t - \tau) d\tau, \\ \Phi_{s_3 t_3}(t) &= \pi_{33} \int_0^t f_{s_3 t_3}(\tau) \Phi_{s_2 t_2}(t - \tau) d\tau. \end{aligned}$$

Применим пуассоновское приближение:  $\tau = \tau_{11} + \tau_{22} + \tau_{33}$ , где  $\tau_{11} = 10,5$  с – среднее время запуска и настройки;  $\tau_{22} + \tau_{33} = 38,3$  с – среднее время определения активных хостов, типов ОС, функционирующих сервисов. Следовательно,  $\tau = 48,8$  с (рис. 6)

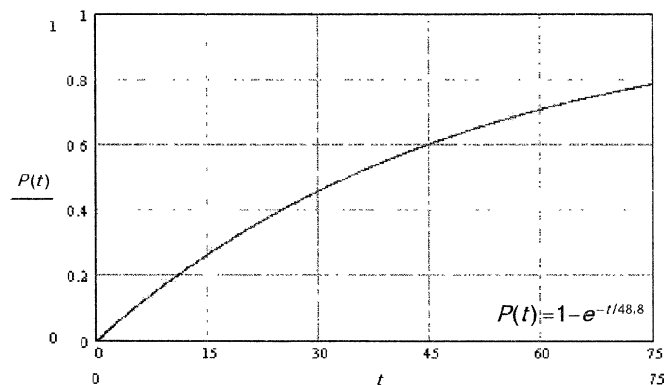


Рис. 6. Зависимость вероятности реализации сканирования сети от времени

В данной статье были рассмотрены способы моделирования процессов сетевого анализа при угрозах доступа к элементам ИТКС. Данные методы являются подготовительными этапами для проведения активных атак злоумышленниками. Моделирование этих процессов может позволить более детально проанализировать эти стадии атак на сеть и позволить эффективнее предотвращать активные атаки на стадии их подготовки.

**Список используемых источников**

1. Радько Н. М., Скобелев И. О. Риск-модели информационно-телекоммуникационных систем при реализации угроз удаленного и непосредственного доступа. М.: Радио Софт, 2010. 232 с.

2. Закалкин П. В., Сагдеев А. К., Стародубцев Ю. И., Сухорукова Е. В. Проблема формирования системы динамической защиты государственных информационных систем / Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. V Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сб. науч. ст. в 3 т. / Под ред. С. В. Бачевского. СПб.: СПбГУТ, 2016. 550 с.

УДК 621.3

## **ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО СТРУКТУРЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ СТАЦИОНАРНОГО УЗЛА СВЯЗИ ВОЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

**Д. Д. Корякин, М. П. Понамарев, И. С. Широков, В. В. Шовдра**

Военная академия связи имени Маршала Советского союза С. М. Буденного

*Общезвестно: постоянная боевая готовность ВС РФ определяется в основном готовностью управления и связи; поэтому отсутствие электроэнергии, даже кратковременное, может привести к непоправимым последствиям, которые порой трудно оценить.*

*гарантированное питание, трансформаторная подстанция, резервная электростанция, бесперебойное питание, источники бесперебойного питания, аккумуляторная батарея.*

В современных условиях ведения боевых действий управления соединениями и частями является таким же решающим фактором успеха, как и количество и качество войск и оружия, и в значительной степени определяет успех в решении боевой задачи. Соотношение возможностей управления сторон сейчас – не менее важный показатель, чем соотношение боевых сил и средств.

Таким образом, главным и основным средством боевого управления войсками является связь. Боевая готовность и деятельность войск во многом зависят от надёжной, непрерывной и качественной работы энергосистем, правильной их эксплуатации и современной модернизации [1].

Снабжение электроэнергией стационарных узлов связи осуществляется централизованным способом от энергосистемы страны, а независимым резервным источником является специальная автономная электростанция.

Ввод в действие резервных источников происходит автоматически, но в любом случае этот переход связан с полным перерывом в питании потребителей.

В настоящее время, как известно, предъявляются очень высокие требования к надежности и достоверности передаваемой информации, что требует исключения даже кратковременных перерывов в электропитании.

Для недопущения перерыва электроснабжения стационарного узла связи предлагается структура системы электроснабжения, представленная на рис. 1.

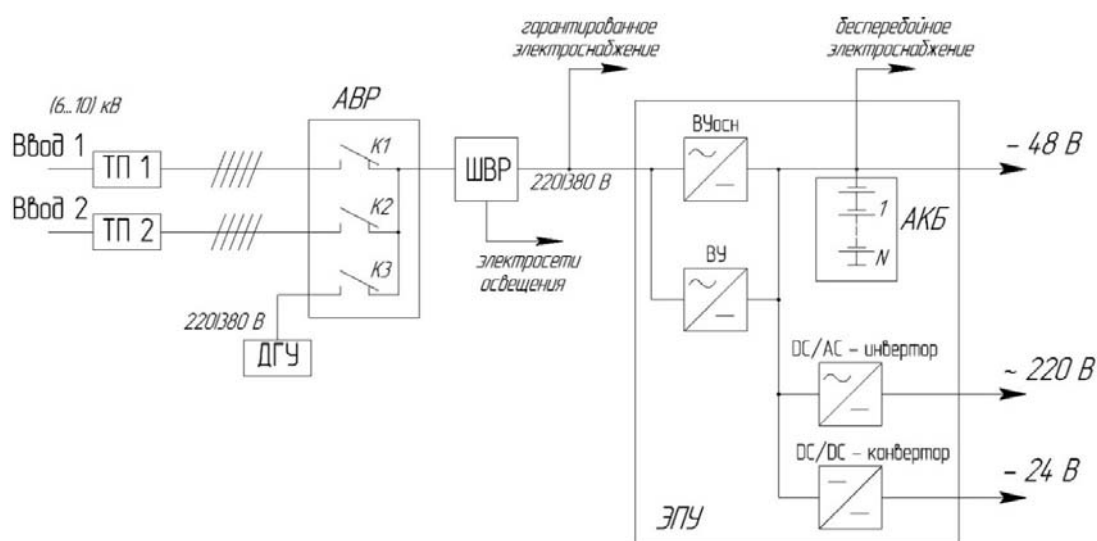


Рис. 1. Структурная схема электроснабжения СУС

СУС относятся к первой категории потребителей. Основной схемой их электроснабжения является двухсетевая схема. По ней на центральный распределительный пункт (ЦРП) или главную трансформаторную подстанцию (или ТП) заводятся две высоковольтные линии, присоединенные к двум и более независимым источникам энергосистемы.

На ТП на стороне низкого напряжения, оборудуется централизованное автоматическое включение резерва (АВР), которое в случае повреждения одной из линий обеспечивает быстрое (менее 1 с) переключение нагрузки на исправную линию [2].

Таким образом, благодаря наличию двух независимых сетей электроснабжения обеспечивается высокая надежность питания СУС.

Для обеспечения средств и комплексов связи бесперебойным питанием на УС оборудуются резервный и аварийный источники электроэнергии.

В качестве резервного источника на СУС оборудуется собственная РЭС с электрическими агрегатами типа АД, АСДА, ДГА, ЭСД (ЭСБ) [3].

Одним из требований, предъявляемых к электростанции, является ее двухагрегатное исполнение с мощностью каждого агрегата, равной номи-

нальной мощности основных потребителей электрической энергии УС, и стандартным напряжением, величина которого должна соответствовать напряжению, получаемому от ТП в сети общего пользования.

При переходе с основного источника электроэнергии на резервный требуется применение дополнительных источников энергии, которые действовали бы в период от момента нарушения действия основного источника до момента вступления в действие резервного источника и которые устраняли бы или сводили к минимуму перерывы электроснабжения потребителей. В качестве таких источников энергии предлагается использовать аккумуляторные батареи.

В нормальном режиме источник бесперебойного питания (ИБП) пропускает питание на нагрузку, аккумуляторная батарея заряжается (подзаряжается) от зарядного устройства (выпрямителя). При отключении питания запускается инвертор и переключатель переводит питание нагрузки на инвертор ИБП. Переключение осуществляется автоматически, и АКБ будет питать нагрузку до момента восстановления напряжения на входе или до истощения ее емкости [1].

Также агрегаты бесперебойного питания необходимо применять не только и не столько тогда, когда напряжение в сети полностью исчезает, но главным образом для обеспечения требуемого аппаратуре качества электроэнергии [1].

Помимо структурной схемы электроснабжения предлагается обобщенная схема электроснабжения СУС, представленная на рис. 2.

Конструкция распределительного устройства низшего напряжения позволяет гарантированно обеспечивать средства связи и автоматизацию электроэнергией в любых режимах работы СЭС.

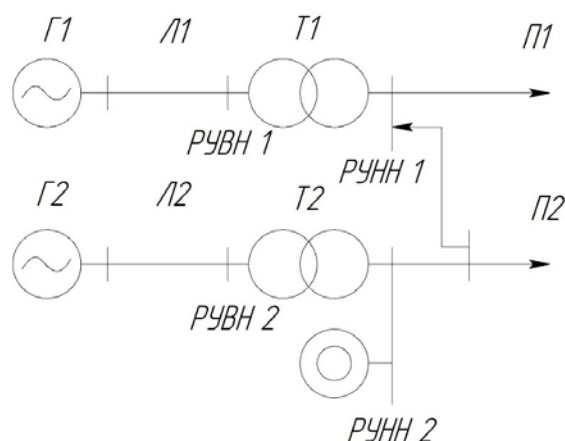


Рис. 2. Обобщенная схема электроснабжения СУС

Все основные элементы СЭС – трансформаторы ТП (ТПП), агрегаты РЭС, питающие сети и другие должны обязательно дублироваться; этим обеспечивается высокая надёжность питания потребителей. До по-



следнего времени рекомендовался режим раздельной работы упомянутых элементов, так как при этом упрощалась коммутация и защита на распределительных устройствах ТП и РЭС. Однако при раздельной работе с применением устройств АВР не всегда удается добиться необходимого быстрого действия восстановления электропитания. Более перспективной является схема параллельной работы источников электропитания. Вводы, понижающие трансформаторы или агрегаты РЭС, работают параллельно. При нарушении нормальной работы одной из параллельных цепей она автоматически отключается. Для уменьшения взаимного влияния мощных нагрузок друг на друга рекомендуется разукрупнение ТП и прокладка дополнительных кабельных перемычек на напряжение 6...10 кВ от соседних ТП или РЭС.

Реализация данных предложений на стационарных узлах военной связи позволит бесперебойно питать потребителей, кратковременный перерыв в питании которых приводит к срыву выполнения боевых задач.

#### Список используемых источников

1. Сысоев Н. Г., Мельников Н. М., Кордюков Е. А., Шляхтенко Д. Б. Электроснабжение телекоммуникационных систем, стационарных и полевых узлов связи: учеб. для курсантов и студентов вузов связи / Под. ред. А. В. Мякотина. СПб.: ВАС, 2012. 388 с.
2. Чернобровов Н. В., Семенов В. А. Релейная защита энергетических систем: учеб. пособие для техникумов. М.: Энергоатомиздат, 1998. 800 с.
3. Рожкова Л. Д., Козулин В. С. Электрооборудование станций и подстанций: учебник для техникумов. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 1987. 648 с.

УДК 654.026

## ПОСТРОЕНИЕ ЛИНИЙ ДИСТАНЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ ПЕРЕДАТЧИКАМИ РАДИОЦЕНТРА СТАЦИОНАРНОГО УЗЛА СВЯЗИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СОВРЕМЕННЫХ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СРЕДСТВ НА ОСНОВЕ ПРОТОКОЛА BGP V.4.

**О. И. Кривошей, С. П. Кривцов, Н. С. Микина, В. И. Чеботарёв**

Военная академия связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного

*В работе рассмотрено построение линий дистанционного управления передатчиками радицентра стационарного узла связи при использовании современных телекоммуникационных средств на основе протокола BGP V.4. В статье описан порядок*

*построения телекоммуникационной сети, состав основного оборудования линий дистанционного управления передатчиками, составлена таблица взаимодействия автономных систем телекоммуникационных связей между элементами радиоцентра.*

*автономная система, стационарный узел связи, радиоцентр, телекоммуникационная сеть, локальная сеть, линии дистанционного управления передатчиками, маршрутизатор, динамическая маршрутизация.*

В отличие от войн прошлого, в настоящее время первоочередными объектами воздействия стали не войска и оружие, а системы управления противника и информационно-телекоммуникационная сеть (ИТКС), как ее техническая основа. В работе под ИТКС понимается технологическая система, предназначенная для передачи по линиям связи информации, доступ к которой осуществляется с использованием средств вычислительной техники.

Увеличение количества и важность задач в интересах управления обуславливает повышение требований, предъявляемых к ИТКС по обеспечению устойчивости ИТКС и ее элементов. Устойчивость ИТКС – способность ИТКС обеспечивать управление при всех воздействующих факторах. Составляющими устойчивости являются живучесть, надежность и помехоустойчивость [1].

Организационно-техническая структура перспективных узлов связи реализуется на основе телекоммуникационной архитектуры, предполагающей построение базовой сети связи на основе стека протоколов ТСР/ІР. В основу построения архитектуры узлов связи пунктов управления специального назначения положен принцип создания защищенной мультисервисной сети связи на базе интегрированной ІР-платформы с поддержкой качества обслуживания на всех уровнях.

Наряду с основной частью стационарного узла связи (СУС) претерпевают значительные изменения и вынесенные элементы СУС, которые могут быть построены по модульному принципу. В настоящее время в зависимости от состава и мест дислокации от узла связи обеспечивается функционирование от нескольких радионаправлений к узлам связи выше стоящего штаба, так и к узлам связи подчинённых [2].

Все средства радиосвязи СУС организационно и технически объединяются в модули. В ходе анализа стало ясно, что элементы радиоцентра могут обеспечить следующие основные возможности:

принимать и обеспечивать дежурство в нескольких радионаправлениях или радиосетях с возможностью записи переговоров;

организовать передачу в нескольких радионаправлениях или радиосетях на радиостанциях большой мощности, несколько десятков радионаправлений или радиосетей на радиостанциях средней мощности; обеспечить работу абонентских телефонных каналов, для линий дистанционного управления (ЛДУ) передатчиками, служебной и оперативной связи и кана-

лов тонального телеграфирования, а также низкоскоростных каналов передачи данных.

Линии дистанционного управления передатчиками состоят из аппаратуры аналогового каналообразования работающей по магистральным медным кабелям связи и в качестве резервных линий используются аналоговые радиорелейные станции.

В итоге на основе данного анализа приходим к выводу, что радиоцентр может обеспечить только аналоговую связь, которая не всегда соответствует требованиям современной системы связи.

Для совершенствования ЛДУ передатчиками радиоцентра СУС предлагается использовать современные телекоммуникационные средства и фрагмент внутренней телекоммуникационной сети узла связи представленный на рисунке, состоящей из:

1. Комплекта телекоммуникационных средств основной части узла связи в состав которого входит:

– 2 магистральных оптических линий связи с резервными цифровыми радиорелейными линиями;

– пограничный маршрутизатор узла;

– коммутатор локальной вычислительной сети 3 уровня;

– VoIP шлюз для преобразования голосовой информации в IP пакеты;

– IP шлюз для преобразования телеграфной информации в IP пакеты;

– абонентская локальная вычислительная сеть.

2. Комплекта телекоммуникационной аппаратуры связи приёмного модуля в состав которого входит:

– 2 магистральных оптических линий связи с резервными цифровыми радиорелейными линиями;

– пограничный маршрутизатор узла;

– коммутатор локальной вычислительной сети 3 уровня;

– VoIP шлюз для преобразования голосовой информации в IP пакеты;

– IP шлюз для преобразования телеграфной информации в IP пакеты;

– абонентская локальная вычислительная сеть.

3. Комплекта аппаратуры связи передающего модуля, в состав которого входит:

– оборудование магистральной оптической линии связи с резервными цифровыми радиорелейными линиями;

– пограничный маршрутизатор узла;

– коммутатор локальной вычислительной сети 3 уровня;

– VoIP шлюз для преобразования голосовой информации в IP пакеты;

– IP шлюз для преобразования телеграфной информации в IP пакеты;

– абонентская локальная вычислительная сеть.

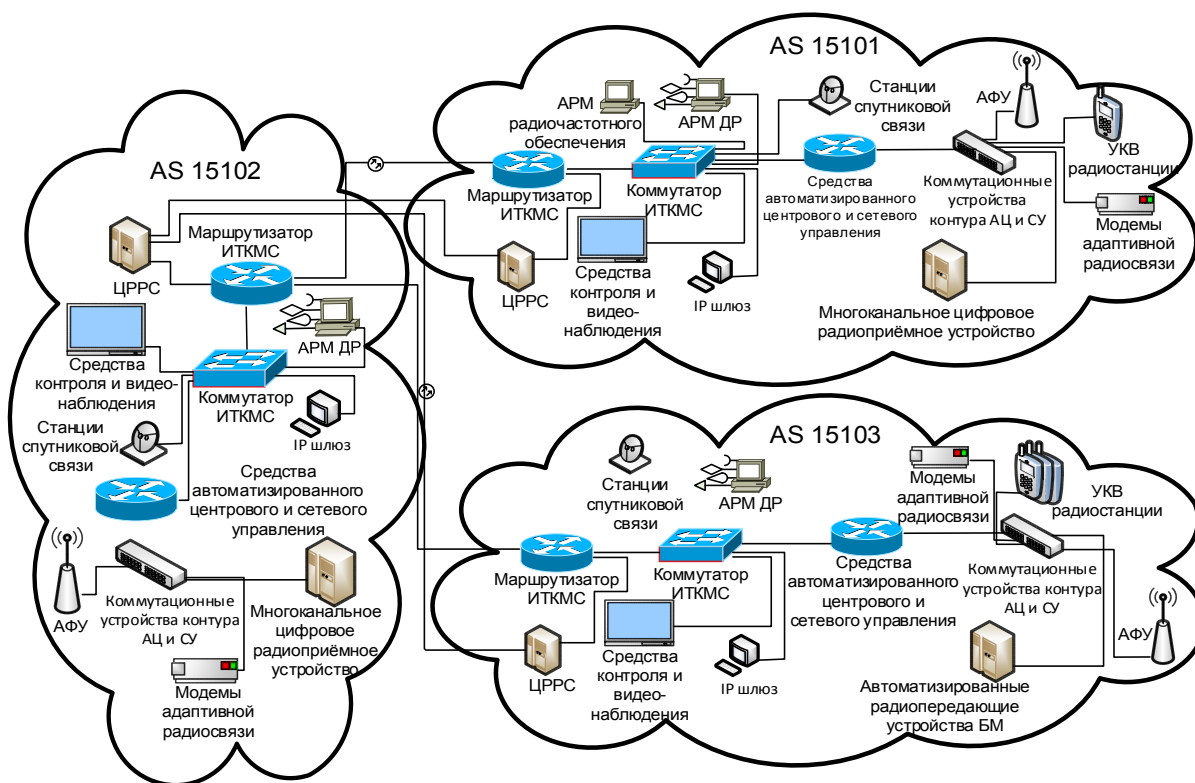


Рисунок. Схема радицентра стационарного узла связи

Использование телекоммуникационных средств предоставляет пользователю оптимальное сочетание скорости передачи, высокой энергетики радиолинии и широкого набора функциональных возможностей.

Введение этого оборудования позволит обеспечить цифровую связь между основной частью узла связи и удаленными элементами узла связи. Наличие локальной компьютерной сети между основной частью и удаленными элементами узла связи позволит организовать новые услуги связи, такие как [2]: видеоконференцсвязь, электронную почту, систему видеонаблюдения, открытую IP-телефонию, передачу файлов и данных.

В состав стационарной мультисервисной сети Министерства обороны входят пограничные маршрутизаторы узла, являющихся автономными системами, соединенные цифровыми потоками.

Для выбора маршрутов между узлами связи (автономными системами) используется протокол внешней маршрутизации BGP.

Протокол BGP (*Border Gateway Protocol* – протокол граничного шлюза) – это протокол внешней маршрутизации, который был разработан для применения в объединенных сетях TCP/IP, но может применяться и в других пакетных сетях. В настоящее время действует версия протокола BGP-4. Данная версия предусматривает возможность агрегации сетей с использованием технологии бесклассовой междоменной маршрутизации (CIDR).

Протокол BGP в отличие от дистанционно-векторного протокола RIP и протокола OSPF, работающего на основе оценки состояния линий, ис-

пользует концепцию маршрутно-векторной маршрутизации. Протокол BGP воспринимает объединенную сеть в виде графа, состоящего из автономных систем (или сетей) в вершинах графа и магистральных линий (ребер графа) между ними.

На Работу протокола BGP предлагается построить в упрощенном виде. Сначала маршрутизаторы AS обмениваясь между собой маршрутной информацией с помощью протокола OSPF, собирают полную информацию о внутренней топологии AS и формируют таблицы маршрутизации, которые в дальнейшем используются для выбора путей внутри AS. Затем маршрутизатор модулей с помощью протокола BGP могут отправить маршрутное сообщение об обновлении маршрутизаторам в других автономных системах, содержащие следующие поля:

AS\_Path – идентификатор автономной системы AS;

Next Hop – IP-адрес маршрутизатора;

NLRI – список всех сетей в автономной системе AS.

Это сообщение информирует маршрутизаторы о том, что ко всем перечисленным в поле NLRI сетям можно получить доступ через маршрутизатор, и для этого необходимо пересечь одну автономную систему – AS. Маршрутизатор переправит полученное по протоколу BGP маршрутное сообщение смежному с ним граничному BGP-маршрутизатору своей автономной системы, которое в поле Next Hop будет содержать IP-адрес маршрутизатора. У маршрутизатора установлены соседские отношения с BGP-маршрутизатором другой автономной системы. Он отправит маршрутное сообщение об обновлении маршрутной информации другому маршрутизатору, если у маршрутизатора есть альтернативный маршрут к некоторым сетям, перечисленным в предлагаемом маршруте, то он должен сделать выбор между этими маршрутизаторами. Альтернативным, к примеру, мог бы быть маршрут через другую точку входа, либо через другую автономную систему. Выбор предпочтения при наличии нескольких объявленных маршрутов осуществлялся бы на основе сравнения метрик внутренних маршрутов.

После выбора предпочтительного маршрута маршрутизатор помещает полученные маршрутные данные в свою базу данных маршрутизации и переправляет маршрутную информацию смежным с ним BGP-маршрутизаторам. Передаваемое им маршрутное сообщение будет содержать поле AS\_Path с перечнем идентификаторов, пересекаемых на данном маршруте автономных систем.

Подобным образом маршрутная информация распространяется по всей объединенной сети, состоящей из множества автономных систем. При этом поле AS\_Path используется для предотвращения заикливания. А именно, если маршрутное сообщение об обновлении получено маршрутизатором из автономной системы, включенной в список AS\_Path, то этот

маршрутизатор не пересылает обновленную маршрутную информацию другим маршрутизаторам.

В результате предложений по усовершенствованию радицентра был оптимизирован состав техники связи, которой оснащается радицентр, была кардинально пересмотрена система управления радицентром, были введены новые виды и услуги связи. С введением цифрового оборудования появилась возможность передачи каналов АТС, которые позволяют довести до удаленных объектов прямые городские номера, а также телефоны внутренней связи, появилась возможность доведения до узла связи прямых телефонов, введение которых позволяет отказаться от ручного коммутатора дальней связи, в результате чего сокращается состав дежурной смены и из ее состава исключается дежурный телефонист коммутатора дальней связи, также появляется возможность довести до удаленных элементов радицентра телефонные номера АТС-IP-телефонии, что позволяет осуществить звонки практически во все части телекоммуникационной сети МО РФ.

Введение телефонов АТС позволяет обеспечить факсимильную связь, как между абонентами узла связи, так и с выходом в междугороднюю сеть, что в разы ускоряет оперативность работы радицентра.

Описанные принципы построения линий дистанционного управления стационарного узла связи легли в основу построения макета стационарного узла.

#### **Список используемых источников**

1. Кривцов С. П. Перспективы развития системы управления стационарным узлом связи, оснащённой новыми инфокоммуникационными средствами // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. V Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сб. науч. ст. в 3 т. СПб.: СПбГУТ, 2016. Т. 3. С. 286–289.

2. Чеботарёв В. И., Кривцов С. П., Микина Н. С., Кривошей О. И. Построение имитационной модели линий дистанционного управления передатчиками радицентра стационарного узла связи с помощью симулятора локальной сети // 70-я региональная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых учёных «Студенческая весна-2016»: сб. науч. ст. СПб.: СПбГУТ, 2016. С. 617–622.

*Статья представлена научным руководителем, доктором технических наук, профессором А. В. Мякотиным.*

УДК 654.026

## АЛГОРИТМ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОТОКОВ ИНФОРМАЦИИ С ПАКЕТНЫМ ТРАФИКОМ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ ПО КОНДИЦИОННЫМ МАРШРУТАМ ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ СВЯЗИ

С. П. Кривцов, А. В. Мякотин Л. И. Орлова, В. И. Чеботарёв

Военная академия связи имени Маршала Советского Союза С. М. Будённого

*В статье рассматривается проблема передачи IP-пакетов трафика реального времени с требуемым качеством на транспортной сети связи с учетом используемой телекоммуникационной технологии. Обосновывается необходимость установления связи корреспондирующим узлам по кондиционным маршрутам. В качестве решения предлагается алгоритм распределения информационных потоков по кондиционным маршрутам с учетом информационной нагрузки на сети.*

*корреспондирующая пара узлов, трафик реального времени, IP-пакет, время задержки, кондиционность маршрута, ранг маршрута, потоковый граф.*

В Вооруженных Силах РФ проходит активный процесс реформирования, в том числе и в Войсках связи. При этом основой будет выступать глобальная (пространственно-разнесенная) информационная сеть, создаваемая на базе имеющихся и перспективных транспортных сетей связи на основе применения современных телекоммуникационных технологий и обладающая высокими оперативно-техническими характеристиками. Такая сеть должна обеспечить непрерывный и единообразный обмен информацией для всех систем и средств, используемых в мирное время и при ведении боевых действий [1].

К транспортным сетям связи предъявляются высокие требования по вероятностно-временным характеристикам, которые можно обеспечить путем выполнения условия кондиционности маршрутов корреспондирующих пар узлов. Под кондиционностью маршрута в данной статье будем понимать время на пересылку IP-пакета информации, чувствительной к задержкам (трафик реального времени), по данному маршруту.

Проблема заключается в том, что на транспортных сетях связи IP-пакеты с трафиком реального времени вынуждены проходить большое количество промежуточных центров коммутации, накапливая величину задержки. Поэтому уже изначально не все кратчайшие маршруты следования информации между узлами корреспондирующих пар будут удовлетворять требованию кондиционности. Тем более, в условиях изменения структуры

сети связи в результате различных деструктивных воздействий, применения современных телекоммуникационных технологий для построения транспортных сетей связи и фактической потоковой обстановки на них, устанавливая гарантированные соединения для корреспондирующих пар узлов по кондиционным маршрутам становится еще более затруднительным. Решение задачи можно получить путем умелого управления потоковыми ресурсами сети и их оптимальным распределением по кондиционным маршрутам.

Известны и на практике чаще всего используются задачи, в которых требуется определять или максимальную суммарную величину потоков  $\sum f_{ij} = \max$  на сети или удовлетворить требованию по величине потоков, протекающих между заданными узлами корреспондирующих пар.

К сожалению, в решении нашей задачи данные формулировки не могут быть использованы в силу того, что все потоки, образуемые в сети должны протекать по кондиционным маршрутам. Задача распределения потоков по кондиционным маршрутам формулируется следующим образом [2].

Заданы: 1) матрица связности графа сети  $G(n, m)$ ;

2) корреспондирующие пары узлов (каждый связан с каждым);

3) ёмкости ребер сети  $C_{ij}$ ,  $i, j \in n$ ,  $i \neq j$ . Под емкостью можно понимать или число каналов, или величину суммарного потока, протекающего по данному ребру;

4) параметры кондиционного маршрута, пригодного для передачи сигналов технологий с коммутацией пакетов:  $r^{\text{доп}}(\pi_k^t)$  – допустимый ранг кондиционного маршрута, где  $k$  – номер корреспондирующей пары узлов,  $t$  – порядковый номер маршрута,  $r^{\text{доп}}$  – допустимое число пунктов транзита (коммутации) в составе кондиционного маршрута сети; или  $T_{\text{зад}}^{\text{доп}}$  – допустимая величина задержки на пересылку пакетов информации.

Ограничения: 1) суммарный поток, протекающий по ребру, не может быть больше его емкости  $\sum f_{ij} \leq C_{ij}$ ;

2) в процессе решения распределительной задачи следует контролировать наличие образующихся разделительных множеств сети.

Требуется: образовать максимальное множество потоков заданной величины, которые протекают по маршрутам, заданного ранга (по кондиционным маршрутам).

Ниже приводится блочная схема алгоритма распределения информационных потоков по кондиционным маршрутам (рис.). Она включает базовый алгоритм Флойда, задачу коммивояжера и несколько вспомогательных процедур. Алгоритм Флойда относится к классу полиномиальных алгоритмов, а задача коммивояжера к классу  $NP$ -полных задач.



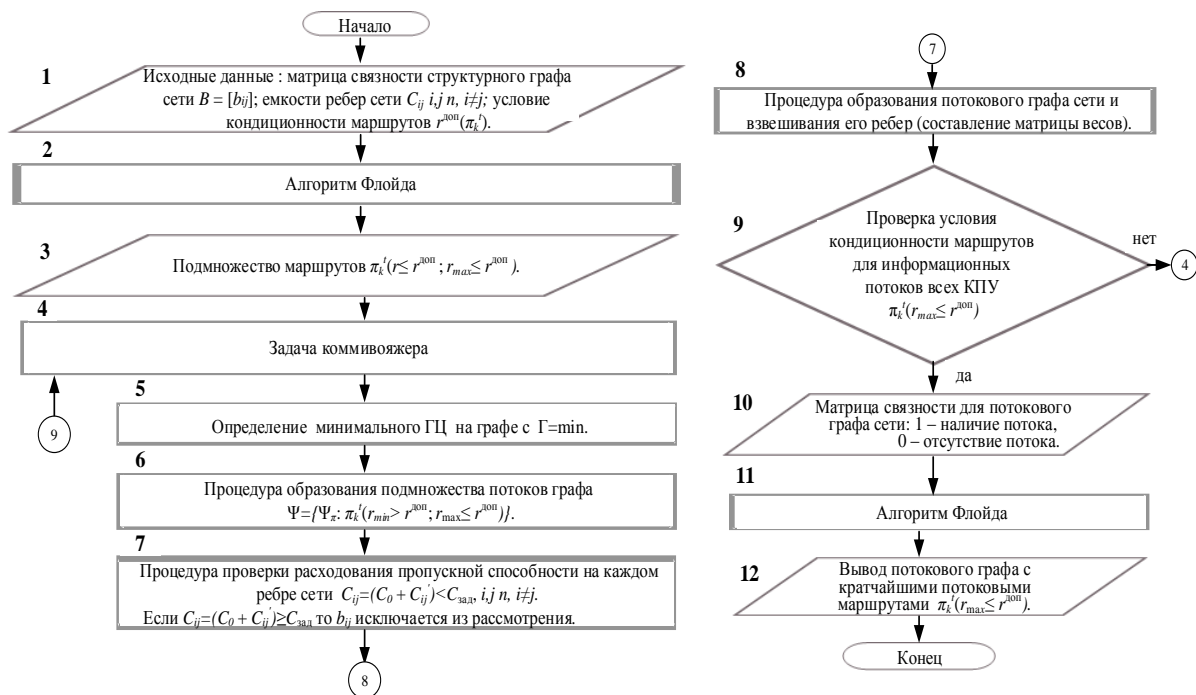


Рисунок. Блочная схема алгоритма распределения информационных потоков по кондиционным маршрутам

Рассмотрим последовательность работы алгоритма распределения информационных потоков по кондиционным маршрутам на структуре транспортной сети связи.

1. С помощью алгоритма Флойда определяются кратчайшие пути на графе сети для всех корреспондирующих пар узлов (в данном случае узлами корреспондирующих пар являются центры коммутации транспортной сети):

$$\Pi = \{\Pi_k\}, \Pi_k = \{\pi_k^t\}, k = \overline{1, n(n-1)/2}, t = \overline{1, h_{св}},$$

где  $n$  – число центров коммутации в сети,  $h_{св}$  – наименьшая валентность узла в корреспондирующей паре узлов.

Из существующих алгоритмов определения кратчайших путей на графе для всех корреспондирующих пар узлов выбор сделан в пользу специального алгоритма Флойда. Его сложность составляет  $O(N^3)$ , что на порядок лучше по сравнению с алгоритмом Форда ( $O(N^4)$ ) и экономит 50 % времени по сравнению с  $n$ -кратным применением алгоритма Дейкстры [3].

2. Определяются ранги полученных маршрутов  $r(\pi_k^t)$ . В соответствии с выбранной телекоммуникационной технологией для построения транспортной сети связи, типом сетевого оборудования и возможностями его стыковки определяется допустимое число промежуточных центров коммутации на маршрутах передачи информации [3]. Условие кондиционности задается:

$$r(\pi_k^t) \leq r^{\text{доп}}(\pi_k^t), k = \overline{1, n(n-1)/2}, t = \overline{1, h_{св}}.$$

3. Все кратчайшие маршруты, удовлетворяющие условию кондиционности, насыщаются единичными потоками.

Образуется подмножество потоков  $\Psi$  графа сети такое, что потоки в нем протекают по кондиционным маршрутам:

$$\Psi = \{\Psi_{\pi}: \pi_k^t(r \leq r^{\text{доп}})\}.$$

4. Распределение информационных потоков по маршрутам не удовлетворяющим заданному условию кондиционности для структурного графа производится благодаря определению минимальных гамильтоновых циклов на нем (Процедура образования подмножества потоков  $\Psi$  графа, которые протекают по маршрутам  $\pi(r > r^{\text{доп}})$ ):

$$\Psi = \{\Psi_{\pi}: \pi_k^t(r > r^{\text{доп}})\}.$$

Минимальные гамильтоновы циклы на графе определяются с помощью задачи Коммивояжера. Ее работа основана на представлении потоковой обстановки на транспортной сети связи в виде многослойного графа  $G_{\pi_k^t}(B, H)$ . Каждый минимальный гамильтонов цикл, входящий в состав моделируемой сети, называется слоем, подграфом  $\langle s, [G_m] \rangle$  графа  $G_{\pi_k^t}$ .

5. В качестве исходных данных для работы задачи коммивояжера задается матрица связности между узлами графа сети  $B = \|b_{ij}\|$  (1), где элементы матрицы определяются следующим образом:

$$b_{ij} = \begin{cases} 0, & \text{если между } b_i \text{ и } b_j \text{ есть ребро;} \\ 1, & \text{если между } b_i \text{ и } b_j \text{ нет ребра,} \end{cases} \quad (1)$$

где 0 и 1 – это веса ребер графа, описывающего структуру транспортной сети связи.

Такие веса приписываются ребрам графа сети при определении первого минимального гамильтонова цикла, для всех последующих подграфов веса ребер будут иными.

6. После составления матрицы связности программой ИГ [4] рассчитывается минимальный гамильтонов цикл, который определяет первый слой многослойного графа. Ребра графа, вошедшие во множество полученных на данном минимальном гамильтоновом цикле маршрутов, равномерно «заполняются» единичными потоками.

Для всех последующих итераций составления многослойного графа исходными данными выступают величины потоков, задаваемые в матрице весов. Процедура взвешивания проводится после получения очередного минимального гамильтонова цикла. Весовые коэффициенты назначаются в соответствии с величиной потока, распределенного по ребру на предыдущем шаге, но независимо от проведенного на предыдущем шаге взвешивания, т. е. каждый раз новые. (Процедура образования потокового графа и взвешивания его ребер).

В процессе составления матрицы весов необходимо контролировать расходование пропускной способности на каждом ребре:

$$C_{ij} = (C_0 + C_{ij}') < C_{\text{зад}}, i, j \in n, i \neq j.$$

Если  $C_{ij} = (C_0 + C_{ij}') < C_{\text{зад}}$  то  $b_{ij}$  исключается из рассмотрения (Процедура проверки расходования пропускной способности на каждом ребре сети).

7. При распределении потоков на полученном минимальном гамильтоновом цикле важно определить порядок насыщения ребер графа по маршрутам, соединяющим узлы корреспондирующих пар. В приоритете соединение наиболее удаленных узлов корреспондирующих пар при условии коммутации в некоторых промежуточных центрах, число которых определяется условием кондиционности маршрутов. С этой целью устанавливаются прямые («сквозные») соединения на определенных участках сети по конкретным информационным потокам. В рамках данной статьи будем называть такие участки потоковыми маршрутами. Потоковый маршрут будет соединять два центра коммутации транспортной сети связи через определенное число промежуточных центров коммутации, в которых будет отсутствовать обработка адресов сообщений по заданному информационному потоку. Запрет на обработку может быть установлен вручную или реализован программно-коммутационном оборудовании.

8. После распределения информационных потоков для всех корреспондирующих пар узлов с соблюдением условия  $\pi_k^i(r_{\text{max}} \leq r^{\text{доп}})$  составляется потоковый граф. Он задается матрицей связности, в которой наличие потока обозначается 1, отсутствие потока – 0. Применение к нему алгоритма Флойда дает возможность определить кратчайшие потоковые маршруты. В случае, если информационные потоки распределены не для всех корреспондирующих пар узлов, работа возвращается к алгоритму коммивояжера.

9. Алгоритм распределения потоков по кондиционным маршрутам завершает работу выводом потокового графа с кратчайшими потоковыми маршрутами, которые являются кондиционными.

Вывод: таким образом, переход от распределения кратчайших маршрутов на структуре графа сети к распределению кратчайших маршрутов на потоковом графе позволит сократить время задержки на обработку сигналов сетевым оборудованием промежуточных центров коммутации до требуемого по условию кондиционности маршрутов, и тем самым позволит передавать речевую пакетную информацию с заданным уровнем качества.

#### Список используемых источников

1. Кривцов С. П., Микина Н. С. Совершенствование линий дистанционного управления передатчиками радицентра стационарного узла связи при использовании современных телекоммуникационных средств // Актуальные проблемы инфотелеком-

муникаций в науке и образовании. V Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сб. научн. ст. в 3 т. / Под ред. С. В. Бачевского. СПб.: СПбГУТ, 2016. Т. 3. С. 281–286.

2. Горай И. И., Орлова Л. И. Постановка задачи распределения информационных потоков по кондиционным маршрутам на сети связи специального назначения // 69-я научно-техническая конференция, посвященная Дню радио, Санкт-Петербург, СПбНТОРЭС, 2014 г. СПб.: СПбНТОРЭС, 2014. С. 142–147.

3. Ванюгин Д. С., Орлова Л. И. Методика оценки структур транспортных сетей связи специального назначения численными методами // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. V Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сб. научн. ст. в 2 т. / Под ред. С. В. Бачевского. СПб.: СПбГУТ, 2015. Т. 2. С. 1092–1100.

4. International Intellectual Group, Inc. (I.I.G., Inc.). URL: <http://www.iig@pcgrate.com> (дата обращения 15.09.16).

УДК 654.16/654(091)

## ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМЫ СВЯЗИ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ В АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

В. Н. Лукьянчик<sup>1</sup>, В. Н. Мельник<sup>1</sup>, В. И. Мосеев<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Военная академия связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

*В статье, с учётом особенностей Арктической зоны Российской Федерации, рассмотрены возможности построения системы связи специального назначения на основе комплексного применения различных родов связи. Основным направлением развития технической основы системы управления является создание пространственно эшелонированных сетей связи в составе: наземного, воздушного, космического и морского компонентов со связями между ними, составляющих по своей архитектуре систему связи объёмного типа.*

*Арктическая зона, система связи, эшелонированные сети связи.*

Под Арктической зоной Российской Федерации понимается часть Арктики, в которую входят полностью или частично территории республик, автономных областей, округов и краёв, а также прилегающие к этим территориям земли, острова, расположенные в Северном Ледовитом океане, внутренние морские воды и континентальный шельф Российской Федерации, в пределах которых Россия обладает суверенными правами и юрисдикцией в соответствии с международным правом [1].

Арктика – северная область Земли, включающая глубоководный Арктический бассейн, мелководные окраинные моря с островами и прилегающими частями материковой суши Европы, Азии и Северной Америки.

При организации связи в Арктике необходимо учитывать сложные физико-географические условия Северных территорий, на которых размещаются войска, включая прибрежную материковую часть, вдоль Северного Ледовитого океана и острова. Кроме того, необходимо учитывать суровые климатические условия (низкая температура, сильный ветер, снежные бури, магнитные возмущения и другие факторы) [1].

Особенностями Арктической зоны (АЗ) Российской Федерации, оказывающими влияние на построение системы связи специального назначения являются:

- экстремальные природно-климатические условия, включая постоянный ледовый покров или дрейфующие льды в арктических морях;
- низкие температуры в течение всего года, сильный ветер, снежные бури;
- нестабильность прохождения КВ-радиосигналов в высокоширотной зоне, обусловленную воздействием «солнечного ветра» на авроральную зону (где магнитно-силовые линии геомагнитного поля имеют практически вертикальное положение), а также магнитными бурями;
- низкая развитость (плотность) существующих сетей и линий связи различного назначения;
- отсутствие каких-либо связей с объектами специального назначения, расположенными на островах или в районах (местах) их развёртывания.

Главной целью развития системы связи специального назначения (СС СпН) в АЗ РФ является обеспечение эффективного управления силами, решающими задачи обеспечения военной безопасности, защиты и охраны Государственной границы Российской Федерации в Арктике и находящимися на боевом дежурстве.

В настоящее время существующая система связи в АЗ базируется на тракты и каналы связи различных операторов связи единой сети электросвязи (ЕСЭ) РФ, ведомственные сети других силовых структур, линии ОАО «Газпрома», развёрнутые различными средствами связи, а также линии связи МО. По своей структуре, канальной ёмкости она не соответствует системе управления специального назначения и предъявляемым требованиям.

В Арктической зоне России отсутствует единое информационное поле, обеспечивающее сбор, обработку, анализ информации и доведение ее до потребителей. Существующее информационное поле не имеет необходимой глубины разведки, носит очаговый характер и не обеспечивает выполнение задач в необходимом объеме [2].

Чтобы обеспечить оперативное и устойчивое управление силовыми структурами, необходимо иметь техническую основу системы управления в Арктической зоне, обладающую структурной живучестью, гибкостью и мобильностью по перестроению, наращиванию (доразвёртыванию) и восстановлению ее элементов (участков).

Она должна обеспечивать связь органам и объектам управления, находящимся на значительных расстояниях друг от друга, обеспечивая требуемую пропускную способность и информационную безопасность.

Это означает, что техническая основа системы управления, какой является система связи специального назначения, должна создаваться как высокоскоростная коммутируемая сеть с интеграцией служб на основе применения передовых современных технологий, перспективных комплексов технических средств связи и автоматизации, унификации технического, программного и информационного обеспечения, с учётом особенностей построения и алгоритмов обмена информацией в сетях управления, опознавания, навигации и оповещения.

Основным направлением развития технической основы системы управления в АЗ является создание пространственно эшелонированных сетей связи в составе: наземного, воздушного, космического и морского компонент со связями между ними, составляющих по своей архитектуре систему связи объёмного типа [3].

Наземный компонент представляют совокупность стационарной (ЕСЭ РФ, ведомственные сети связи) и полевой частей (составляющих) системы связи. Помимо решения задач каналообразования и обеспечения доступа к ресурсу системы связи наземный компонент является интегратором ресурсов орбитального и воздушного компонент.

Основу стационарного компонента составляет мультисервисная сеть связи (МСС), создаваемая по территориально-зональному принципу. Элементами МСС АЗ являются стационарные узлы (объекты) связи береговой части территории от Мурманска до Анадыря и на островах, магистральные и внутризональные линии связи, линии привязки узлов и объектов связи.

Вследствие особых (суровых) физико-географических и климатических условий северных широт для формирования стационарной компоненты полносвязной цифровой сети связи целесообразно развёртывать (прокладывать) собственные линии связи различными средствами, использовать существующие цифровые сети различных операторов, развёртывать местные соединительные линии для подключения всех объектов региона к общей цифровой сети и получения необходимых услуг в любой точке расположения объекта сети.

В наземном компоненте системы связи должен быть реализован принцип гибридной сети связи (коммутации каналов и пакетов). Элементами сети связи являются узлы доступа, в состав которых могут входить различные средства связи (радиорелейные, проводные, волоконно-

оптические, тропосферные, спутниковые и широкополосные средства), коммутации и радиодоступа мобильных абонентов, позволяющие обеспечить доступ абонентов к ресурсу системы связи и услугам связи ЕСЭ РФ [4].

Такая структура сети связи будет являться системой связи общего пользования для всех силовых структур и представлять собой разветвленную в пространстве масштабируемую, многоканальную коммутируемую сеть электросвязи с узлами и объектами связи и ресурсом каналов и трактов (цифровых потоков) связи, удовлетворяющую требованиям системы управления по обеспечению обмена информацией.

Оснащение узлов и объектов связи на островах Земля Александры (архипелаг Земля Франца-Иосифа), Новая Земля, Средний (Северная Земля), на мысе Отто Шмидта, острове Врангеля и острове Котельный (Новосибирские острова) комплексным телекоммуникационным оборудованием обеспечит их работу со всеми органами управления, работающими в закрытом сегменте сети передачи данных. Это позволит предоставить должностным лицам известны перечень услуг связи: шифрованную телефонную связь, открытую телефонную связь, передачу электронной корреспонденции, видеоконференцсвязь.

Ввиду геофизических особенностей региона и отсутствия развитой инфраструктуры основными родами связи будут являться спутниковая (в пределах зон покрытия спутников связи – до 5000...15000 км), коротковолновая и ультракоротковолновая радиосвязь.

Для организации спутниковой связи в АЗ на стационарных объектах и узлах связи устанавливаются станции спутниковой связи, а также могут использоваться абонентские терминалы. В составе космического сегмента могут использоваться ретрансляторы связи на геостационарной (КА «Радуга», «Глобус»), высокоэллиптической («Меридиан», «Экспресс») орбитах, также низкоорбитальная система спутниковой связи «Гонец-Д» с ретранслятором связи «Ямал» [5].

Радиосвязи в АЗ отводится особая роль и место. Обладая высокой мобильностью, большой дальностью действия (без переприемов и ретрансляций при минимальных затратах сил, средств и времени) и относительной простотой организации, радиосвязь является наиболее оперативным и эффективным средством установления, восстановления и поддержания связи с удаленными корреспондентами в случае невозможности ее обеспечения другими средствами (родами) связи. Это является весьма важным фактором при обеспечении связи с объектами связи, находящимися на островах, подвижными объектами (надводными судами и подводными лодками) и другими.

Учитывая особые условия северных широт, оказывающих существенное влияние на распространение радиоволн в декаметровом диапазоне частот (3–30 МГц) и приводящих к резкому ухудшению связи, а порой,

и полному её прекращению в КВ диапазоне (нарушение может быть в 40 % случаев), в АЗ для организации радиосвязи необходимо использовать радиосредства, работающие в широком диапазоне частот: Крайне низких – КНЧ (0,03–300 Гц), Очень низких – ОНЧ (СДВ–3–30 КГц), Средних – СЧ (СВ–300–3000 КГц), Высоких – ВЧ (КВ–3–30 МГц), Очень высоких – ОВЧ (УКВ метровые–30–300 МГц), Ультравысоких – УВЧ (УКВ дециметровые–300–3000 МГц), Средневысоких – СВЧ (УКВ-сантиметровые–3–30 ГГц) [6].

Важная роль и место в составе наземного компонента в будущем отводится тропосферной магистральной линии связи, развёртываемой вдоль Северного морского пути от Мурманска до Владивостока цифровыми тропосферными станциями в северном исполнении. Тропосферная магистральная линия связи способна обеспечить все объекты и узлы связи, расположенные вдоль побережья, связью независимо от их принадлежности.

Воздушный компонент представляет собой организационно-техническое объединение ретрансляторов, на летно-подъемных средствах с различной высотой подъёма (аэростаты, самолёты, вертолёты, беспилотные летательные аппараты (БПЛА), предназначенные для образования ресурса пропускной способности в интересах силовых структур.

Система связи специального назначения, как основной элемент технической основы системы управления, определяет состояние и возможности управления, эффективность работы органов, пунктов, объектов и средств управления.

Количественные и качественные возможности и облик СС СпН характеризуются, прежде всего, их способностью реализовывать главные цели построения этой системы. Указанная способность заключается в возможности выполнения задачи по обеспечению эффективного управления за установленный (нормативный, заданный) период времени в конкретной обстановке.

#### Список используемых источников

1. Основы государственной политики Российской Федерации в Арктике на период до 2020 года и дальнейшую перспективу. Утв. Президентом РФ 18 сентября 2008 г. Пр-1969 // Российская газета от 27 марта 2009 г., столичный выпуск № 4877.
2. Мальков М. В. Развитие информационно-телекоммуникационной среды в Арктике // Труды Кольского научного центра РАН. Информационные технологии: сб. науч. тр. / Под ред. В. Т. Калининкова. Апатиты: Кольский филиал Петр ГУ, 2011, выпуск 2. С. 10–18.
3. Васильев И. Д. Направления развития информационно-телекоммуникационной среды Арктики [Электронный ресурс] // Связь в Вооруженных силах РФ – 2010: тем. сб., выпуск 5. С. 105–107. URL: <http://www.army.informost.ru/2010/sbornik/3-2.php> (дата обращения 11.03.2017).
4. Брыксенков А. А. Арктика в ожидании отечественной связи [Электронный ресурс] // Связь на Русском Севере: материалы III конф. 3–4 сент. 2015. URL:



<http://www.connect-wit.ru/itogi-konferentsii-svyaz-na-russkom-severe.html> (дата обращения 11.03.2017).

5. О КВ радиосвязи [Электронный ресурс]. URL: <http://www.etc-com.ru/radio/UHF-about> (дата обращения 11.03.2017).

6. Головин О. В., Мамаев Н. С. Использование коротковолновых и спутниковых систем связи при чрезвычайных ситуациях // Электросвязь 1999. № 5. С. 13–16.

УДК 615.035.4

## ПЕРСПЕКТИВА ПРИМЕНЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ДАТЧИКОВ ДАВЛЕНИЯ ДЛЯ МЕТЕОПРОГНОЗА ОПАСНЫХ ПОГОДНЫХ ЯВЛЕНИЙ

Н. Е. Манвелова<sup>1</sup>, Т. А. Манвелова<sup>2</sup>, С. А. Панихидников<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»  
им. В. И. Ульянова (Ленина)

*Показаны тенденции увеличения числа опасных погодных явлений и усиления воздействия неблагоприятных условий природы на все сферы жизнедеятельности общества и преимущества метода радиозондирования атмосферы. Рассмотрены принципы действия пьезоэлектрических чувствительных элементов датчиков атмосферного давления и выбран датчик атмосферного давления с чувствительным элементом на объемных акустических волнах для применения в радиозондировании. Выполнено конечно-элементное моделирование чувствительного элемента на объемных акустических волнах, рассмотрены особенности его применения при измерении атмосферного давления.*

*опасные природные явления, датчик давления, чувствительный элемент на объемных акустических волнах, радиозондирование атмосферы.*

По оценкам Всемирной метеорологической организации, в настоящее время отмечается устойчивая тенденция увеличения материальных потерь и уязвимости общества из-за усиливающегося воздействия опасных природных явлений (ОПЯ). Наибольший ущерб приносят опасные гидрометеорологические явления (более 50 % от общего ущерба от опасных природных явлений). В этих условиях усиление влияния природной среды на общество сформировало актуальнейшую проблему: как обеспечить гидрометеорологическую безопасность страны от возможного негативного воздействия опасных погодных явлений, неблагоприятных условий природы, экстремальных изменений климата и их последствий? [1].

Именно адаптация производственно-хозяйственных объектов к ожидаемым условиям погоды, экономически эффективное использование гид-

рометеорологической и экологической информации позволяют максимально снизить возможные негативные воздействия гидрометеорологических условий и экономические потери. Обеспечение этой адаптации возможно при качественном и своевременном получении аэрологической и метеорологической информации о состоянии приземного, пограничного, а также нижних слоев атмосферы, получаемой при радиозондировании атмосферы [2].

В любой стране, в том числе и в России, производственная и техногенная сфера в целом исторически формируется в тех внешних условиях, которые естественным образом определила природа. Однако природная среда, в условиях антропогенного воздействия, реализуясь через условия погоды, ужесточает свое влияние на общество, что проявляется в виде роста числа опасных явлений (ОЯ) и неблагоприятные условия погоды (НУП), наносящих социальный и экономический ущерб. К опасным природным явлениям, в частности, относятся очень сильный ветер, ливень, сильный снег, крупный град, сильная метель и сильный туман [3].

Повторяемость ОЯ имеет циклический характер (в отдельные годы, такие как 1991 и 2000, повторяемость ОЯ минимальная – 118 и 131 соответственно, а в другие годы, такие как 1995 и 2004, число ОЯ достигало 250 и 390 соответственно) [4]. В 2013 г. (за 11 месяцев) зарегистрировано 439 ОПЯ, что на уровне значений аналогичного периода 2012 г. (430 ОПЯ) и выше среднесуточных значений в 1,5 раза (287 ОПЯ). Для предотвращения ОПЯ принципиально необходимо заблаговременное, достоверное прогнозирование, которое достигается с помощью высотных методов радиозондирования.

На сегодняшний день существует развитая сеть радиозондирования, которая в значительной степени решает задачу прогнозирования опасных природных явлений. Но существует ряд вопросов, решение которых может повысить надежность и достоверность прогноза ОПЯ. Таким «белым пятном» являются контактные измерения при радиозондировании атмосферы, позволяющем отслеживать глобальные процессы в слоях атмосферы. На сегодняшний день создание приборов для проведения таких замеров является технически трудной задачей, и поэтому определение, например, давления в отечественной практике радиозондирования проводится расчетным путем.

В связи с этим актуальной является задача обоснования конструкции и расчета рабочих характеристик чувствительного элемента датчика давления, позволяющего проводить контактные измерения на высоте до 30 км над уровнем моря при радиозондировании атмосферы.

Радиозонд представляет собой небольшой лёгкий измерительный прибор, выпускаемый в свободный полёт и снабжённый датчиками различных метеорологических параметров и радиопередатчиком. 30 января 1930 г. в 13 ч. 44 мин. по московскому времени с территории Аэрологиче-

ской обсерватории в Павловске был произведен первый запуск радиозонда в мировой истории метеорологии П. А. Молчановым. На сегодняшний день радиозонд является небольшой легкой конструкцией с закрепленными на ней датчиками, которая прикрепляется к воздушному шару и отправляется вместе с ним в свободный полет под действием архимедовой силы, высота полета составляет 25–30 км. В дальнейшем шар распирает изнутри, и он лопается, а радиозонд падает вниз. Применение радиозондов позволило создать оперативную аэрологическую сеть, а затем и принципиально новый метод трёхмерного анализа атмосферных процессов, который стал основой прогнозирования погоды и исследований в области физики атмосферы [5].

Наиболее точный результат может быть получен при контактных измерениях термодинамических параметров атмосферы на высотах до 25...30 км над уровнем моря. Информацией, снимаемой с радиозонда, являются вертикальные профили температуры, влажности, скорости и направления ветра на заданных высотах. При этом давление атмосферного воздуха по установившейся практике радиозондирования определяется расчетным путем. Радиозонд производит сначала преобразование нескольких метеовеличин в радиотелеметрические сигналы, а потом передачу их по радиоканалу на наземную станцию сопровождения. Точность получаемых технических данных может быть улучшена в случае применения контактных измерений с помощью датчиков давления.

Авторы статьи предлагают обратить внимание на пьезоэлектрический датчик давлений с чувствительным элементом на объемных акустических волнах (ОАВ) для применения в радиозондировании атмосферы. Рассмотрим конструкцию и рабочие характеристики данного датчика и проверим его работоспособность в условиях стратосферы, где свои измерения проводит радиозонд (рис. 1).

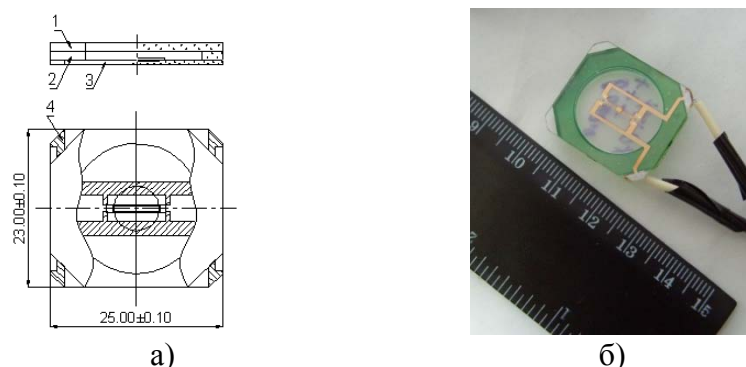


Рис. 1. Чувствительный элемент датчика давления на объемных акустических волнах: а) эскизный чертеж кварцевого резонатора: 1 – Крышка 2 – Прокладка 3 – Мембрана 4 – Контактные площадки; б) внешний вид

В качестве чувствительного элемента использован манометрический кварцевый резонатор РКМА-Р ТУ 307-182.010-02 (производитель ООО

«СКТБ ЭлПА»: Ярославская обл., г. Углич) [6]. Данный чувствительный элемент имеет интервал рабочих давлений от 0 до 0,6 МПа и применяется в прецизионных электронных преобразователях, манометрах и контроллерах давления класса точности до 0,03, соответственно, абсолютная погрешность измерений равна 180 Па.

Любой элемент, применяемый в измерительной технике должен обладать рядом обязательных качеств, среди которых одним из важнейших является работоспособность и достоверность получаемых результатов измерения физических величин. Рассмотрим оценку работоспособности чувствительного элемента в виде профилированной кварцевой мембраны датчика давления на объемных акустических волнах в условиях стратосферы.

Математическое моделирование чувствительного элемента датчика давления на ОАВ (профилированная кварцевая мембрана с закрепленным на ней преобразователем на основе сдвоенного камертона) проводилось в конечно-элементном программном пакете. При эксплуатации датчика основным источником механической нагрузки является давление измеряемой среды, действующей на приемную полость. Расчет проводится при атмосферном давлении на уровне стратосферы (30000 м над ур. м.), равном 1,2 кПа.

В результате компьютерного моделирования мембраны и процесса воздействия на внешнюю ее сторону избыточного давления были получены цветовые диаграммы распределения механических напряжений и прогибов по поверхности мембраны, изображенные на рисунках 2–3.

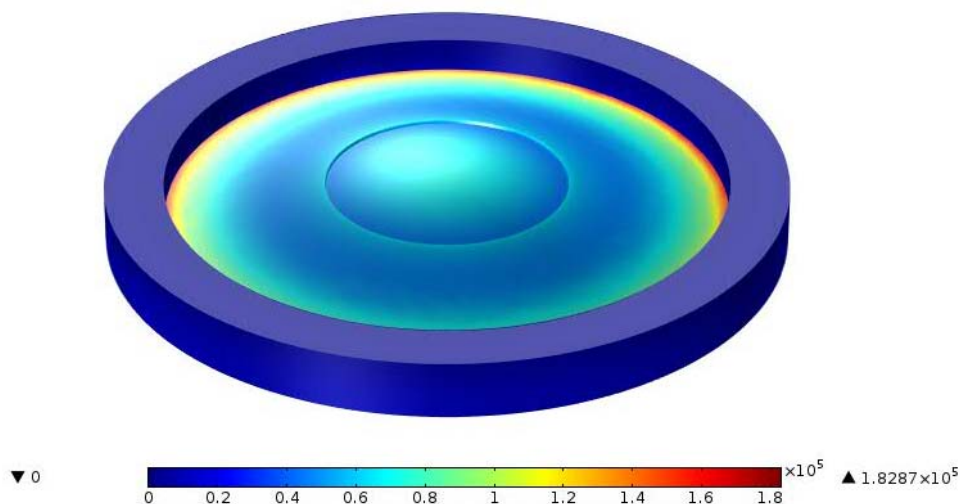


Рис. 2. Распределение главного напряжения  $S_1$  (давление  $P = 1,2$  кПа), вид со стороны тыльной поверхности (размерность Па, диапазон изменения представлен цветовой шкалой)

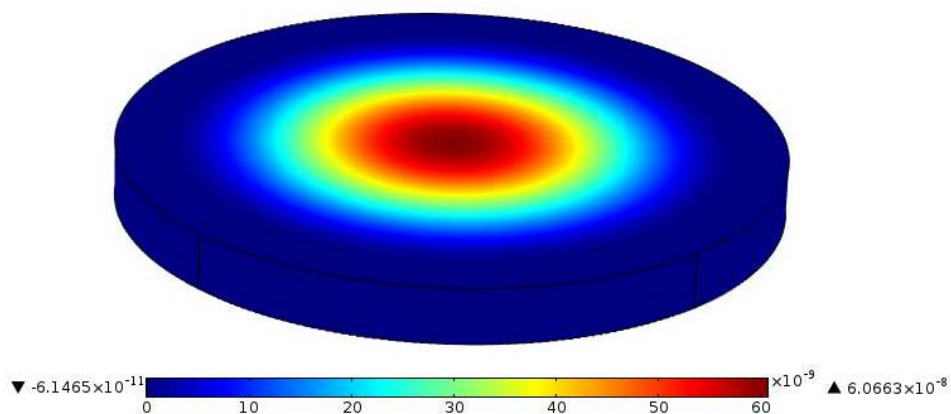


Рис. 3. Распределение вертикального перемещения (прогиба)  $U_z$  чувствительного элемента датчика давления (давление  $P = 1,2$  кПа)

Таким образом, на основании выполненных исследований, можно сделать следующие выводы.

1. Существует группа опасных погодных явлений, для заблаговременного оповещения о приближении которых следует усовершенствовать получаемый метеорологический прогноз путем ведения последовательного забора достоверной информации из нижних слоев атмосферы.

2. Наиболее достоверным и удобным источником информации о процессах в атмосфере является радиозондирование с использованием контактных измерений.

3. В качестве датчика физических величин (давления) для проведения забора информации из нижних слоев атмосферы предлагается применять пьезоэлектрический датчик давления с чувствительным элементом в виде кварцевого резонатора на объемных акустических волнах.

4. Выполнено обоснование работоспособности конструкции выбранного чувствительного элемента для получения необходимых значений измеряемой физической величины.

#### Список используемых источников

1. Экстремальные явления в России и мире [Электронный ресурс] // Изменение климата: Экстремальные явления и изменение климата URL: <http://global-climate-change.ru/index.php/en/component/content/article/210> (дата обращения: 06.03.2017).

2. Бедрицкий А. И. Гидрометеорологическая безопасность и устойчивое развитие России // Международная конференция «Измерение и содействие прогрессу: новый подход для стран СНГ и Восточной Европы», Москва, 29–30 сентября 2008. М., 2008. 11 с.

3. Коршунов А. А., Шаймарданов М. З., Шаймарданова И. Л. Гидрометеорологическая безопасность и устойчивое развитие экономики России для обслуживания потребителей: результаты статистического анализа опасных условий погоды [Электронный ресурс] // Методический кабинет Гидрометцентра России URL: <http://method.meteor.ru/danger/results/results.html> (дата обращения 06.03.2017).

4. Панфутова Ю. А. Опасные метеорологические явления на равнинной террито-

рии Российской Федерации и риски, создаваемые ими : автореф. дис. ... канд. геогр. наук : 25.00.30 / Панфутова Юлия Анатольевна. СПб., 2008. 161 с.

5. Галисултанов А. Т., Захаров Д. Ю., Манвелова Н. Е., Силаков Д. М., Манвелова Т. А. Датчики давления с чувствительными элементами на объемных акустических волнах для радиозондов // Вопросы радиоэлектроники. 2014. Т. 1. № 2. С. 157–164.

6. Резонатор кварцевый манометрический абсолютного давления РКМА-Р (ТУ 307-182.010-02). URL: [http://sktbelpa.ru/images/stories/PDF/rkma\\_p.pdf](http://sktbelpa.ru/images/stories/PDF/rkma_p.pdf)

УДК 621.391

## ВАРИАНТ ПОМЕХОЗАЩИЩЕННОЙ СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ

**Д. Е. Мосягин, О. И. Пантюхин, В. В. Сазонов, В. С. Титов**

Военная академия связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного

*Помехоустойчивость систем передачи информации и скрытность параметров сигналов от средств мониторинга радиосетей и их подавления являются основными составляющими помехозащищенности. В предлагаемой системе передачи информации помехоустойчивость обеспечивается ортогональностью используемых сигналов, а скрытность достигается необходимым их количеством. Частота смены ортогональных базисов и адаптации системы передачи информации определяется условиями ведения радиоэлектронной борьбы. Для этого в структуру системы дополнительно введены анализатор канала и устройство управления с элементами решающей обратной связи.*

*помехоустойчивость, система передачи информации, мониторинг радиосетей и их подавление, ансамбль дискретных ортогональных многоуровневых сигналов в бесконечном множестве базисов.*

Известно [1], что помехозащищенность систем передачи информации (СПИ) достигается за счет комплекса организационных мер, способов и средств, направленных на обеспечение устойчивой работы СПИ в условиях воздействия преднамеренных помех. Основными составляющими помехозащищенности является помехоустойчивость и скрытность сигналов и параметров сигналов СПИ от средств мониторинга радиосетей и их подавления (МРСП), которые получают требуемые сведения и данные об элементах СПИ путем приема и анализа электромагнитного излучения систем радиосвязи.

С точки зрения воздействия на систему передачи, постановка помехи будет тем эффективнее, чем больше информации о передаваемых сигналах будет выявлено на этапе МРСП. Количество сведений о СПИ, которое

можно получить в процессе МРСП, определяется не только характеристиками радиоприёмного устройства, но и способностью СПИ адаптивно изменяться, то есть её скрытностью.

Под скрытностью СПИ понимается её способность сохранить в тайне факт передачи информации, структуру сигнала и содержание передаваемой информации, а под помехоустойчивостью СПИ понимается её способность передавать информацию с заданным качеством в условиях воздействия помех всех видов. Помехоустойчивость СПИ первоначально проявляется на уровне дискретного канала и зависит от следующих факторов: структуры и вида сигнала-переносчика (СП) и помехи; интенсивности помехи; структур приёмника канала, типа антенн; применяемых способов борьбы с помехами и др.

Сигнальная скрытность может быть обеспечена: выбором СП, схожего по параметрам с естественным шумовым фоном; использованием длинных последовательностей с неизвестной для системы МРСП и неповторяемой во времени структурой; применением псевдослучайных хаотических последовательностей, образованных в результате клиппирования хаотических непрерывных во времени процессов; стохастическим использованием достаточно большого объема СП, с фиксированным или изменяющимся периодом.

Одним из вариантов повышения помехозащищенности (ППЗ) СПИ в современных условиях, является применение эффективных способов скрытия параметров и, прежде всего, структуры СП за счет адаптивного использования достаточно большого объема СП, с фиксированным или изменяющимся периодом. Применение данного способа ППЗ СПИ на практике с использованием известных ансамблей ортогональных сигналов затруднено, поскольку количество известных ортогональных базисов, обеспечивающих требуемые корреляционные характеристики СП, ограничено. Данное противоречие, затрудняет на практике использование в СПИ известных ортогональных сигналов для повышения их скрытности, и обусловлено ограниченным, а, следовательно, заранее известным количеством ортогональных базисов.

Вариантом решения данной задачи является использование ансамблей ортогональных многоуровневых сигналов, описываемых собственными векторами эрмитовых матриц (ЭМ) вида:

$$Q = \begin{vmatrix} 0 & q_{1,2}e^{j\Psi_{1,2}} & 0 & \dots & 0 & 0 \\ q_{2,1}e^{j\Psi_{2,1}} & 0 & q_{2,3}e^{j\Psi_{2,3}} & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & q_{k-1,k}e^{j\Psi_{k-1,k}} \\ 0 & 0 & 0 & \dots & q_{k,k-1}e^{j\Psi_{k,k-1}} & 0 \end{vmatrix},$$

где  $q_{k-1,k} = q_{k,k-1}$  – модули, а  $\Psi_{k-1,k} = \Psi_{k,k-1}^*$  – аргументы коэффициентов.

При бесконечно большом наборе коэффициентов диагональных ЭМ размерностью  $\{N\}$ , существует бесконечно большое число ортогональных базисов  $\{M\}$ , которые предлагается использовать в адаптивной системе передачи информации [2, 3, 4].

Рассмотрим дискретный сигнал  $\dot{s}(t)$ , однозначно определяемый вектором в  $N$  – мерном пространстве:

$$\dot{x}_1(t) = \{a_{1,1}e^{j\varphi_{1,1}}, a_{1,2}e^{j\varphi_{1,2}}, a_{1,3}e^{j\varphi_{1,3}}, \dots, a_{1,m}e^{j\varphi_{1,m}}\},$$

где  $a_{1,k}$  – амплитуда единичного элемента первого сигнала,  $\varphi_{1,k}$  – фаза единичного элемента первого сигнала.

Пространственное представление одного из сигналов показано на рис. 1.

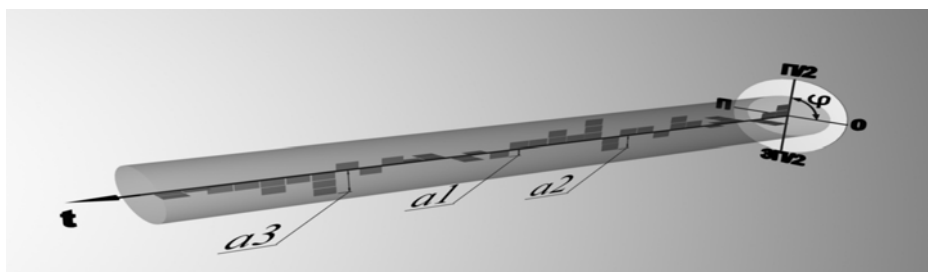


Рис. 1. Пространственно-временное представление дискретного сигнала

В этом пространстве имеется  $N$  – мерный ортогональный базис. Каждой оси базиса соответствует определенный элемент дискретного сигнала, амплитуда и фаза которого определяет координату сигнального вектора, поэтому ансамбль дискретных ортогональных сигналов задает система функций:

$$\{\dot{x}_1(t); \dot{x}_2(t); \dots; \dot{x}_n(t)\}.$$

На общем минимальном отрезке  $\Delta t$  каждый сигнал моделируется точкой арифметического  $N$  – мерного пространства  $R^N$ , которое рассматривается как частный случай линейного пространства матриц, а ансамбль дискретных ортогональных сигналов однозначно определяется квадратичной матрицей порядка  $(n \times N)$ :

$$X = \begin{vmatrix} a_{11}e^{j\varphi_{1,1}} & a_{12}e^{j\varphi_{1,2}} & \dots & a_{1m}e^{j\varphi_{1,m}} \\ a_{21}e^{j\varphi_{2,1}} & a_{22}e^{j\varphi_{2,2}} & \dots & a_{2m}e^{j\varphi_{2,m}} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ a_{n1}e^{j\varphi_{n,1}} & a_{n2}e^{j\varphi_{n,2}} & \dots & a_{nm}e^{j\varphi_{n,m}} \end{vmatrix} \quad (1).$$

Матрица, определяемая согласно (1), является моделью ансамбля дискретных сигналов, временное представление которых представлено



на рис. 1. Множество матриц  $Q$  порядка  $(n \times N)$ , все элементы которых целые числа, задают все возможные базисы пространства  $E_n$ . При этом пространство моделей ансамблей дискретных ортогональных сигналов состоит из множества базисов, соответствующих различным ЭМ.

На основе подхода, изложенного к синтезу ортогональных последовательностей в [3], авторами разработана помехозащищённая системы передачи информации к условиям ведения МСРП, которая представлена на рис. 2.

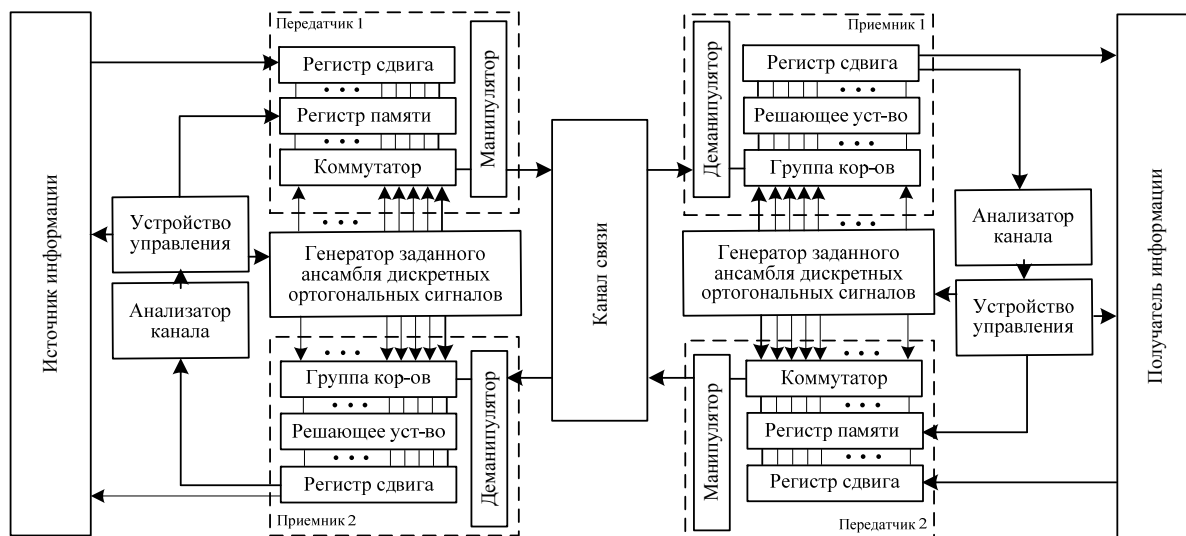


Рис. 2. Помехозащищённая система передачи информации, адаптивная к условиям ведения мониторинга радиосетей и их подавления

Система передачи, приведенная на рис. 2, работает следующим образом. Двоичные сигналы от источника информации поступают на информационный вход регистра сдвига, который разбивает двоичные символы на кодовые последовательности из  $k$  двоичных символов.

Каждая кодовая последовательность в параллельном виде записывается в регистр памяти, откуда она поступает на вход коммутатора. Каждая из  $k$ -разрядных исходных кодовых последовательностей, поступающих на вход коммутатора из регистра памяти, преобразуется в один из возможных вариантов дискретных ортогональных сигналов  $S_i(t)$ ,  $(i = 1, m)$ .

Количество  $\tilde{N}_N$  генерируемых структур ансамблей дискретных ортогональных сигналов (базисов) будет напрямую зависеть от значений  $\alpha$  и  $\beta$ , состояний диагональных модулей  $q_{k-1,k}$  и аргументов  $\Psi_{k-1,k}$  коэффициентов исходной ЭМ  $Q$ , её размерности  $N$  и будет определяться выражением вида:

$$\tilde{N}_N = (\alpha \cdot \beta)^{N-1}. \tag{2}$$

В этом случае один из сформированных ортогональных СП  $S_i(t)$ , поступает в манипулятор, где он преобразуется в радиосигнал и передается

в линию. В линии на радиосигнал воздействуют естественные и преднамеренные помехи, которые искажают его.

На вход приемника поступает СП  $S_i^*(t)$ , искаженный помехами. Далее он обрабатывается в корреляторах, осуществляющих обработку под воздействием генератора ортогональных сигналов, идентичного передающему. После этого решающее устройство определяет номер переданного сигнала. Тот сигнал, для которого коэффициент взаимной корреляции с анализируемым сигналом  $S_i^*(t)$  в корреляторе имеет наибольшее значение, считается поступившим из линии и наиболее вероятно принятым приемным устройством. Решающее устройство ставит в соответствие принятому сигналу  $S_i^*(t)$   $k$ -разрядную кодовую последовательность по алгоритму, используемому на передаче, записывает её в параллельном виде в регистр сдвига, откуда двоичная информация поступает к получателю.

Для адаптации системы передачи информации в систему дополнительно введены анализатор канала и устройство управления с элементами решающей обратной связью. Частота смены ортогональных базисов данной системы будет определяться условиями ведения МРСП.

Согласованная работа передающего и приемного устройств обеспечивается соответствующими процедурами синхронизации. На передающей и приемной стороне генераторы ортогональных сигналов на должны функционировать по одинаковому алгоритму. На начальном этапе функционирования тракта передачи их запуск должен производиться синхронно. В ходе функционирования поддержание синхронизма обеспечивается с учетом особенностей формирования и режимов дуплексной или полудуплексной передачи сигналов.

Выбор ортогональных базисов из множества позволяет решить задачу повышения скрытности СПИ. Ортогональность СП позволяет решить задачу оптимизации СПИ при заданной помехоустойчивости, что в совокупности повышает помехозащищенность СПИ в целом.

Таким образом, рассматриваемая помехозащищённая система передачи информации, адаптивная к условиям ведения мониторинга радиосетей и их подавления, может найти своё применение в современных помехозащищённых телекоммуникационных системах.

#### Список используемых источников

1. Помехозащищенность радиосистем со сложными сигналами / Под ред. Тузова Г. И. М.: Радио и связь, 1984. 154 с.
2. Попенко В. С. Векторный синтез ансамблей ортогональных сигналов МО, РФ, ч. II. 1993. 130 с.
3. Пашинцев В. П., Малофей О. П., Жук А. П. и др. Развитие теории синтеза и методов формирования ансамблей дискретных сигналов для перспективных систем радиосвязи различных диапазонов радиоволн. М.: Физматлит, 2010. 264 с.

4. Жук А. П., Сазонов В. В. Повышение помехозащищённости систем связи с ортогональными сигналами // Известия ЮФУ. Технические науки. 2005. № 4 (48). С. 163–166.

УДК 621.391.13

## НЕКОТОРЫЕ ПРОБЛЕМЫ ПОВЫШЕНИЯ ДОСТОВЕРНОСТИ В СЕТЯХ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

**А. В. Неижмак**

Военная академия связи имени Маршала Советского Союза С.М. Буденного

*Статья посвящена анализу основных характеристик систем повышения достоверности в сетях передачи данных. В ходе анализа были рассмотрены две основные группы характеристик систем повышения достоверности, представлены основные способы повышения достоверности в однонаправленных системах передачи данных. В результате проведенного анализа были выявлены проблемы повышения достоверности и предложен один из вариантов их решения.*

*системы повышения достоверности, системы обмена данными, повышение достоверности в сетях передачи данных.*

Эффективное использование вычислительной техники в автоматизированных системах управления (АСУ) невозможно без обмена данными между их элементами. Поэтому создание и развитие автоматизированных систем управления привело к появлению и быстрому развитию такого вида электросвязи, как передача данных.

Совокупность комплексов технических средств передачи данных, образующих на основе каналов связи первичной сети определенную структуру, функционирующих по заданным алгоритмам и обеспечивающих обмен данными в АСУ, называют системой передачи данных, или системой обмена данными СОД. Эта система является вторичной сетью системы связи.

Основным назначением и целью функционирования СОД является обеспечение обмена сообщениями данных между элементами автоматизированных систем управления при обеспечении заданных требований по своевременности и другим показателям.

Система обмена данными есть совокупность комплексов оконечных средств обмена данными и центров коммутации, соединенных каналами связи, обеспечивающая обмен данными в автоматизированных системах

управления при выполнении требований по заданным показателям эффективности [1].

Проблема повышения достоверности передачи данных обусловлена несоответствием между требованиями, предъявляемыми при передаче данных, сигналов управления, телеграфных и других видов дискретных сообщений, и качеством большинства реальных каналов связи, получаемых при использовании современной каналообразующей аппаратуры. В большинстве случаев требуется обеспечить достоверность, при которой вероятность ошибочного приема комбинаций первичного кода не больше  $10^{-6}$ – $10^{-9}$ . При непосредственной передаче по реальным каналам можно обеспечить значение этой вероятности лишь в пределах  $10^{-2}$ – $10^{-5}$ .

Решение проблемы повышения достоверности в десятки тысяч раз только путем совершенствования каналообразующей аппаратуры экономически нецелесообразно, а в ряде случаев технически невозможно [2].

В системах обмена данными повышение достоверности является одной из основных функций каналов передачи данных. Осуществляется оно при обмене пакетами данных между элементами сети передачи данных, а также при обмене сообщениями данных между отправителями и получателями данных. Таким образом, процедуры повышения достоверности используются в рамках протоколов первого, второго, третьего и четвертого уровней управления в СОД, системах телеграфной связи, то есть во всех современных системах передачи дискретных сообщений. Более того, при передаче в цифровой форме аналоговых сообщений, таких как телефонные и факсимильные, становится необходимым осуществлять повышение достоверности, что обусловлено устранением избыточности при дискретизации аналоговых сообщений.

Огромное значение для развития информатики и телекоммуникаций имеют методы обеспечения достоверного обмена цифровыми данными, среди которых важное место занимают системы повышения достоверности. Для принятия решений необходимы такие качества информации, как полнота, актуальность, ценность и др. Если информация неполна, недостоверна, противоречива или неактуальна, принимать решения по ней затруднительно. Тогда для определённости выполняются работы по увеличению достоверности, полноты и ценности информации – или попытки принять решения в условиях неопределённости. Во многих областях деятельности добиться полноты и достоверности информации невозможно, но для того чтобы максимально было возможно получить достоверную информацию используют системы повышения достоверности информации. Системы повышения достоверности информации – это комплекс мероприятий по обнаружению и исправлению ошибок, возникающих при передаче информации по каналам связи в сетях передачи данных. В сетях передачи данных специального назначения к системе повышения достоверности предъявляются дополнительные требования, которые обусловлены воздействием

противником на систему передачи данных. При передаче данных по каналам связи всегда возникают ошибки. Причины их могут быть самые различные, но результат оказывается один – данные искажаются и не могут быть использованы на приемной стороне для дальнейшей обработки [3].

Характеристики систем повышения достоверности в сетях передачи данных выделяют две группы:

- 1) Однонаправленные системы передачи данных (ОНС).
- 2) Системы передачи с обратной связью (ОС).

В однонаправленных системах передачи алгоритмы повышения достоверности не используют информацию о состоянии канала связи, т. е. могут использоваться симплексные каналы связи.

В системах с обратной связью процедуры повышения достоверности используют информацию о результатах приема ранее переданного сообщения и, тем самым, информацию о состоянии канала связи (т. е. необходимы дуплексные каналы связи) [1].

Для оценки эффективности систем передачи используют вероятностно-временные параметры и параметры достоверности системы передачи данных.

Однонаправленные системы передачи данных используют каналы одного направления.

Основными способами повышения достоверности в однонаправленных системах передачи являются: помехоустойчивое кодирование; многократная передача всего сообщения или его части; передача по параллельным каналам связи.

Указанные способы при необходимости могут использоваться комбинированно.

Повышение достоверности в системах передачи данных с обратной связью производится, как правило, в два этапа:

- 1) Использование корректирующего кода в режиме обнаружения ошибки.
- 2) При обнаружении декодером ошибки производится повторная передача неправильно принятых комбинаций или блока кодовых комбинаций [4].

Следовательно, такая система характеризуется адаптивностью к изменяющимся условиям работы канала связи и является более эффективной по сравнению с однонаправленными системами передачи в условиях преднамеренных помех. В зависимости от функций передатчика, приемника и канала обратной связи различают системы с решающей, информационной и комбинированной обратной связью.

В системах с решающей обратной связью (РОС) решение о правильности приема принимает приемник системы передачи данных и при обнаружении декодером ошибки на выход системы поступает правильно принятая комбинация или комбинация с необнаруженной ошибкой.

При этом по каналу обратной связи передается сигнал подтверждения приема комбинации. В случае обнаружения декодером ошибки приемник блокируется и по каналу обратной связи передается сигнал запроса. Передатчик системы в зависимости от принятого по каналу обратной связи сигнала передает новую комбинацию или повторяет ранее переданную. Таким образом, по каналу обратной связи передается решение приемника, поэтому и обратная связь называется решающей [5].

В зависимости от алгоритма функционирования различают системы с РОС: с ожиданием результатов анализа (РОС-ОЖ); с непрерывной последовательной передачей комбинаций (РОС-ПП); с накоплением правильно принятых комбинаций (РОС-НК); с адресным переспросом (РОС-АП).

В системах с информационной обратной связью по каналу обратной связи приемник передает либо принятые кодовые комбинации, либо специальные сигналы – квитанции, имеющие меньший объем, чем информационные, но характеризующие качество приема кодовых комбинаций.

Решение о правильности приема принимает передатчик система передачи данных и далее либо повторяет комбинацию в случае обнаружения ошибки, либо передает новую.

Следовательно, по каналу обратной связи передается информация, а не решение, поэтому и обратная связь называется информационной.

Системы с комбинированной обратной связью представляют собой сочетание решающей и информационной обратной связью. В них решение о выдаче информации получателю или повторной передаче принимают передатчик и приемник [3].

Для сравнения эффективности системы без обратной связи, в которой применяется код Хэмминга с исправлением одной ошибки, и системы с РОС, использующей простой код, вводят понятие коэффициента эффективности. Этот коэффициент учитывает уменьшение вероятности ошибочного приема и затраты на его достижение, выигрыш в защите от ошибок (в случае применения указанных кодов), относительное снижение скорости передачи и схемную избыточность, связанные с использованием разных кодов. Высокая эффективность систем с РОС обеспечила их широкое распространение.

Сравнительный анализ достоверности передачи систем с ИОС и РОС, показал, что:

1) системы с ИОС и РОС обеспечивают одинаковую достоверность передачи при одинаковых суммарных затратах энергии сигналов в прямом и обратном каналах при условии, что эти каналы симметричны и имеют одинаковый уровень помех;

2) системы с ИОС обеспечивают более высокую достоверность передачи, чем системы с РОС при относительно слабых помехах в обратном канале в отличие от прямого. При отсутствии помех в обратном канале

системы с ИОС обеспечивают безошибочную передачу сообщений по основному каналу;

3) при сильных помехах в обратном канале более высокую достоверность обеспечивают системы с РОС;

4) при пачках ошибок в прямом и обратном каналах более высокую достоверность обеспечивают системы с ИОС.

Таким образом, существующие методы повышения достоверности в системах передачи данных приводят к снижению пропускной способности канала и скорости их передачи. Также за счет повторных посылок сообщений может увеличиться общее время передачи. Одним из предполагаемых вариантов повышения достоверности с минимальным влиянием на скорость передачи данных может стать разработка алгоритма функционирования системы повышения достоверности с использованием контрольных пакетов.

#### Список используемых источников

1. Усольцев А. Г. Сопряжение дискретных каналов связи с ЭВМ. М., 1973. 273 с.
2. Сергиенко А. Б. Цифровая обработка сигналов. СПб.: Питер, 2003. 608 с.
3. Захаров А. И. Основы передачи данных. Л.: ВАС, 1985. 157 с.
4. Комарович В. Ф., Липатников В. А. Многоуровневая защита радиолиний декаметрового диапазона: учебное пособие. СПб.: ВУС, 2003. 248 с.
5. Захаров А. И. Методы анализа и синтеза систем передачи дискретной информации. Л.: ВАС, 1970. 248 с.

*Статья представлена научным руководителем, доктором технических наук, профессором А. Н. Путилиным.*

УДК 681.5.015

## ОРГАНИЗАЦИЯ ИНФОРМАЦИОННОГО ПРОЦЕССА В СИСТЕМЕ АВТОМАТИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ СВЯЗЬЮ

**С. Н. Овсянников, О. И. Пантюхин, В. П. Хмелевской**

Военная академия связи имени Маршала Советского Союза С. М. Будённого

*Система автоматизации управления связью представляет собой организационно-техническое объединение сил и средств автоматизации, абонентских сетей передачи данных и базовой сети обмена данными. Информационный аспект составляет сердцевину процесса автоматизации управления связью и называется информационным процессом в системе автоматизации управления связью. В статье рассмотрен*

*информационный процесс и его организация в системе автоматизации управления связью на организационном, оперативно-техническом и технологическом уровнях.*

*управление связью, информационный процесс, система автоматизации управления связью.*

Управление связью заключается в целенаправленной деятельности должностных лиц органов управления связью по созданию (развитию) и всесторонней подготовке системы связи, поддержанию ее в постоянной готовности к обеспечению управления, а также по выполнению функций управления системой при выполнении задач по связи.

Управление связью осуществляется путем циклического выполнения определенной последовательности функций управления: учет, контроль, планирование, регулирование. Здесь под функциями управления связью понимается деятельность лиц, принимающих решения (ЛПР), по функционированию и использованию информационного ресурса для реализации предназначения и обеспечения целостности управляемого объекта (в частности, системы связи и ее элементов).

Каждая функция управления связью реализуется путем решения определенной последовательности задач управления связью.

По своему содержанию и методам решения задачи управления связью условно можно разделить на два класса: информационные, результатом решения которых является изменение формы представления информации, и расчетные, результатом решения которых является изменение содержания информации и новая информация [1].

Требования к управлению связью по устойчивости, непрерывности, оперативности и скрытности определяются требованиями к значениям характеристик существенных свойств системы связи, которые, в свою очередь предъявляются к ней системой управления объектами, для обеспечения управления которыми эта система связи применяется [1, 2, 3].

Автоматизация процессов управления связью имеет целью уменьшение длительности цикла управления связью и повышение эффективности управления за счет сокращения времени на добывание, сбор и обработку информации об обстановке по связи, уменьшения доли времени и усилий, затрачиваемых на техническую и расчетно-информационную работу (решение информационных и расчетных задач управления), документирование принятых управленческих решений, доведение задач, команд, сигналов и распоряжений, контроль их исполнения [1].

Для того, чтобы реализовать процесс автоматизации управления связью, его необходимо организовать. Организация автоматизации управления связью – это процесс разработки, подготовки и управления осуществлением комплекса мероприятий по созданию (построению, развертыва-



нию), обеспечению эффективного функционирования (применения) и совершенствованию системы автоматизации управления связью [2].

Система автоматизации управления связью (САУС) представляет собой организационно-техническое объединение сил и средств автоматизации, абонентских сетей передачи данных (как правило, локальных вычислительных сетей, ЛВС) и базовой сети обмена данными (БСОД) между уровнями управления связью, развертываемых на пунктах управления связью объединения (ПУС) для обеспечения автоматизированного управления связью [2].

Информационный аспект составляет сердцевину процесса автоматизации управления связью и называется информационным процессом в САУС. Информационный процесс в САУС при решении задач планирования и оперативного управления связью – это согласованная по месту, времени и целям совокупность подпроцессов подготовки и ввода данных обстановки по связи, проверки их на достоверность, классификации, обобщения и группирования, а также хранения поступающей информации, поиска и выдачи данных в форме, необходимой для использования при принятии решений по связи, решении задач планирования и оперативного управления связью, оформления результатов в виде документов, команд и сигналов управления связью, их доведения до объектов управления.

Указанный информационный процесс является обеспечивающим по отношению к процессу управления связью. Поэтому требования к значениям характеристик его существенных свойств определяются требованиями к значениям характеристик существенных свойств процесса управления связью. Соответствие этим требованиям обеспечивается рациональной организацией информационного процесса в САУС при решении задач планирования и оперативного управления связью.

Под организацией информационного процесса в САУС понимается разработка, подготовка и управление осуществлением комплекса мероприятий по рациональной реализации его подпроцессов путем построения информационной подсистемы САУС [2].

Здесь под информационной подсистемой САУС понимается взаимосвязанная совокупность информационных ресурсов САУС и информационных технологий их обработки, обеспечивающих автоматизацию реализации функций управления связью. Вся обработка информационных ресурсов в САУС по применяемым в ней информационным технологиям осуществляется на базе программно-технических средств технического, математического и программного, информационного и лингвистического, организационного, кадрового и других видов обеспечения САУС [2, 3].

Информация об обстановке по связи для ввода в САУС по месту ее формирования представляется в виде данных с использованием автоматических датчиков информации, автоматизированных средств подготовки данных (АРМ), либо с использованием бумажных документов, заполнен-

ных вручную. В последнем случае потребуется обязательное преобразование бумажной формы представления данных в форму, обеспечивающую их обработку с использованием технических средств связи и автоматизации.

Данные от источников информации поступают в САУС либо по каналам передачи данных БСОД, либо по каналам абонентской сети передачи данных (ЛВС ПУС), как правило, в виде формализованных сообщений. Кроме того, данные могут поступать в систему и путем их непосредственного ввода должностными лицами органов управления связью со своих АРМ.

Независимо от вида источника информации, ввод информации в САУС должен быть организован следующим образом:

данные для ввода в систему автоматизации оформляются в виде сообщений определенной структуры;

источник информации при подготовке сообщения обязан знать только его структуру и правила оформления и не обязан знать особенности построения САУС и организации информационного процесса в ней;

должна быть обеспечена возможность ввода данных в систему по регламенту (табелю срочных донесений), запросу (как правило, недостающих данных), либо случайным образом (при резком изменении обстановки по связи);

поступление сообщения в систему должно сопровождаться, по результатам его контроля, квитированием (вручную или автоматически), подтверждающим либо прием сообщения для дальнейшей обработки, либо отказ в приеме с раскрытием мест и видов ошибок в оформлении, либо в содержании сообщения.

В процессе ввода данных сообщения в САУС, реализуется подпроцесс проверки на достоверность вводимой информации. Целью проверки на достоверность является защита от несанкционированного доступа, преднамеренного или непреднамеренного искажения, или уничтожения хранящейся в системе информации, ввода ложной информации. Для этого в системе автоматизации организуется синтаксическая проверка правильности оформления входных сообщений и представления информации в них, семантическая, по заранее определенным правилам, проверка входных данных на непротиворечивость, а также парольная и другие виды защиты от несанкционированного доступа. В характерных для критически важных автоматизированных систем условиях априорной неопределенности угроз несанкционированного доступа к информации и компьютерных атак целесообразно реализовывать адаптивную защиту информации, в том числе и адаптивный контроль защищенности информации в САУС [4].

Хранение введенных в систему автоматизации управления связью объединения данных осуществляется при реализации подпроцесса хранения информации. При этом данные размещаются в базе данных, как правило, распределенной, обеспечивая тем самым: надежность, безизбыточ-

ность, целостность и непротиворечивость хранения данных; их достоверность и безопасность; возможность манипулирования данными (запись, чтение, изменение, удаление).

Подпроцесс хранения реализуется в информационном процессе с использованием стандартных программных средств системы управления базами данных (СУБД), применяемой в САУС.

Поиск в базе данных САУС данных, необходимых должностным лицам органов управления связью, а также исходных данных для решения задач автоматизированного планирования связи, автоматизированного оперативно-технического и технологического управления связью реализуется средствами подпроцесса поиска информации. Программные средства поиска являются, как правило, расширением возможностей по манипулированию данными, которые заложены в СУБД САУС.

Подпроцессы выдачи данных по управлению связью осуществляют их выдачу в форме, удобной для восприятия и использования, обеспечивая тем самым информационную поддержку должностных лиц органов управления связью при реализации управленческих функций контроля, планирования и регулирования (оперативного управления) связи, в частности при принятии решений на связь. Эти подпроцессы являются обеспечивающими для реализации подпроцессов обработки данных при решении управленческих задач по связи.

При реализации подпроцесса документирования управленческой информации по связи решаются задачи по формированию планирующих документов, документов для постановки задач, команд и сигналов подчиненным объектам управления, отчетно-учетных, рабочих и справочных документов. При этом должна быть предусмотрена возможность формировать документы как в бумажном, так и в электронном представлении, а также в виде сообщений для передачи по средствам связи. Все документы, формируемые при реализации подпроцесса документирования, представлены в системе унифицированных документов информационного обеспечения САУС.

В подпроцессе доведения управляющей информации по связи до подчиненных объектов управления и контроля исполнения, применяются алгоритмы передачи этой информации с квитированием и сбор информации об обстановке по связи после выполнения поставленных задач. Основными средствами реализации рассмотренных подпроцессов являются программные комплексы информационных и расчетных задач и моделей, объединяемые, как правило, в систему поддержки принятия решений по связи из состава специального программного обеспечения САУС [2].

Организация информационного процесса в САУС на оперативно-техническом и технологическом уровнях управления связью аналогична вышеописанной. Особенностью организации информационного процесса на технологическом уровне управления связью является то, что здесь кон-

троль, как функция управления, является обеспечивающим для инициализации оперативного управления связью на оперативно-техническом уровне, и основывается на результатах реализации функции учета. Содержанием контроля является сравнение истинного и требуемого состояния контролируемого объекта и принятие решения о необходимости выработки управляющих воздействий на него.

#### Список используемых источников

1. Анфилатов В. С. Теоретические основы автоматизации управления войсками и связью. Часть 1. Системные основы автоматизации управления войсками и связью: учеб. пособие. СПб.: ВАС, 2014. 312 с.
2. Анфилатов В. С., Авраменко В. С., Пантюхин О. И. Теоретические основы автоматизации управления войсками и связью. Часть 2. Основы построения и функционирования систем автоматизации управления войсками и связью: учеб. пособие. СПб.: ВАС, 2015. 304 с.
3. Бушуев С. Н., Авраменко В. С., Копчак Я. М., Козленко А. В. Методологические аспекты оценки качества управления связью // Вопросы радиоэлектроники. 2013. Т. 3. № 1. С. 49–53.
4. Авраменко В. С. Адаптивный контроль защищенности информации от несанкционированного доступа на основе информационных образов // Проблемы информационной безопасности. Компьютерные системы. 2010. № 2. С. 45–49.

УДК 621.394.343

## ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ОБСЛУЖИВАНИЯ САМОПОДОБНОГО ТРАФИКА В УЗЛАХ КОММУТАЦИИ МУЛЬТИСЕРВИСНОЙ СЕТИ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

**С. М. Одоевский, В. П. Хоборова**

Военная академия связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного

*Рассматриваются проблемы оценки качества обслуживания самоподобного трафика и предлагаются пути их решения с помощью аналитических и статистических методов расчета среднего времени ожидания в узлах коммутации мультисервисной сети специального назначения.*

*мультисервисная сеть, пульсации трафика, самоподобные процессы, среднее время ожидания, система массового обслуживания.*

Мультисервисная сеть – это единая сеть связи, способная передавать голос, изображение и данные в виде потока пакетов. Особенностью потоков, циркулирующих в мультисервисной сети (МСС) специального назначения (СН), является их неоднородность, существенная нестационарность и пульсирующий характер трафика [1].

При использовании традиционных моделей трафика предполагается сглаживание его статистических параметров при сжатии временной шкалы. Но аналогичные параметры в МСС проявляют схожую изменчивость на различных временных интервалах, что свидетельствует о его самоподобии [2].

Формально отличительным признаком самоподобного процесса является более медленное убывание дисперсии агрегированных процессов  $X^{(n)}$  с увеличением  $n$ , построенных с помощью усреднения значений исходного процесса  $X_i, i = 1, 2, 3, \dots$  на непересекающихся временных интервалах:

$$X^{(n)} = \{X_k^{(n)} : k = 1, 2, 3, \dots\}; X_k^{(n)} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n X_{(k-1) \cdot n + j},$$

где  $n$  – длина непересекающихся интервалов, по сравнению с традиционными потоками:

$$D(X^{(n)}) \approx \frac{a}{n^\beta}; \quad 0 \leq \beta \leq 1; \quad n \rightarrow \infty, \quad (1)$$

где для традиционных потоков  $\beta = 1$ , а для самоподобных  $\beta = 2(1 - H) < 1$ , где  $H$  – параметр Хёрста,  $0,5 < H < 1$ .

Для конкретных выборок  $X^{(n)}$  случайных величин  $X_i, i = 1, 2, 3, \dots, N, N \gg n$ , выборочную дисперсию можно рассчитать по формуле:

$$D(X^n) = \frac{1}{[N/n]} \sum_{k=1}^{[N/n]} (X_k^{(n)} - M)^2 \quad (2)$$

Так как, будучи характерной особенностью современных мультисервисных сетей, инвариантная к масштабу пульсирующая структура трафика оказывает сильное влияние на производительность сети и на показатели качества обслуживания (ПКО) информационных потоков, то разработка соответствующих математических моделей и методов оценки ПКО в узлах коммутации МСС СН является актуальной научной и практической задачей.

В качестве математических инструментов для оценки качества обслуживания информационных потоков были рассмотрены аналитические и статистические методы.

В роли оцениваемого ПКО информационных потоков было выбрано среднее время ожидания начала обслуживания  $T_{ож}$  в типовом отдельно взятом узле коммутации на выходе одного из портов. Были проанализированы зависимости данного показателя от нагрузки  $\rho = \lambda/\mu$  (где  $\lambda$  и  $\mu$  – интенсивности входного и выходного потоков, соответственно) на рассматриваемых

мый выходной порт с использованием модели одноканальной системы массового обслуживания (СМО) с ожиданием при различных законах распределения входного и выходного информационных потоков.

Для упрощения и большей общности результатов рассчитываемая величина времени ожидания начала обслуживания  $T_{ож}$  представлялась в нормированном виде:

$$q = T_{ож}/T_{об}, \tag{3}$$

где  $T_{об}$  – среднее время обслуживания.

В качестве законов распределения времени обслуживания рассматривались экспоненциальное (типа  $M$  в обозначениях Кендала) и детерминированное (типа  $D$ ) распределения.

В качестве закона распределения интервалов времени между очередными пакетами для традиционного входного потока использовалось экспоненциальное распределение (типа  $M$ ). Для моделирования самоподобного трафика рассматривался поток типа броуновского движения ( $fbm$ ) [1], а также потоки, характеризуемые распределениями Парето (типа  $P$ ) и Вейбулла (типа  $W$ ) (табл.1).

Для СМО типа  $M/M/1$ ,  $M/D/1$ ,  $fbm/M/1$ ,  $fbm/D/1$  известны аналитические зависимости [1, 2, 3] относительного среднего времени ожидания начала обслуживания  $q$  от нагрузки  $\rho$  (табл. 2).

ТАБЛИЦА 1. Характеристики функций распределения интервалов времени между очередными пакетами

	Экспоненциальное распределение	Распределение Парето	Распределение Вейбулла
Функция распределения	$F(x) = 1 - e^{-\lambda x}$ $x \geq 0$	$F(x) = 1 - \left(\frac{k}{x}\right)^a$ $x \geq k$	$F(x) = 1 - e^{-\left(\frac{x}{k}\right)^\alpha}$ $x \geq 0$
Плотность распределения	$P(x) = \lambda e^{-\lambda x}$	$P(x) = \frac{ak^a}{x^{a+1}}$	$P(x) = \frac{\alpha}{k} \left(\frac{x}{k}\right)^{\alpha-1} e^{-\left(\frac{x}{k}\right)^\alpha}$
Матожидание	$M = \lambda^{-1}$	$M = \frac{ak}{a-1}$	$M = k\Gamma\left(1 + \frac{1}{\alpha}\right)$
Дисперсия	$D = \lambda^{-2}$	$D = \frac{ak^2}{(a-1)^2(a-2)}$	$D = k^2 \left(\Gamma\left(1 + \frac{2}{\alpha}\right) - \Gamma^2\left(1 + \frac{1}{\alpha}\right)\right)$
Параметры потока и распределения	$\lambda > 0$	$\alpha = 3 - 2H$ $k = \frac{\alpha - 1}{\alpha\lambda}$	$\alpha = 2 - 2H$ ; $k = \frac{1}{\lambda\Gamma\left(\frac{\alpha + 1}{\alpha}\right)}$
Обратная функция $x = F^{-1}(y)$	$x = -\frac{1}{\lambda} \ln(1 - y)$	$x = \frac{k}{\sqrt[\alpha]{1 - y}}$	$x = (k^\alpha \sqrt[-\ln(1 - y)]{} )$
	$y$ – случайная величина с равномерным распределением $F(y) = y, 0 \leq y < 1$		

ТАБЛИЦА 2. Аналитические зависимости относительного среднего времени ожидания начала обслуживания  $q$  от нагрузки  $\rho$

$M/M/1$	$M/D/1$	$fbm/M/1$	$fbm/D/1$
$q = \frac{\rho}{(1 - \rho)}$	$q = \frac{\rho}{2(1 - \rho)}$	$q = \frac{\rho^{1/[2(1-H)]}}{(1 - \rho)^{H/(1-H)}}$	$q = \frac{\rho^{1/[2(1-H)]}}{2(1 - \rho)^{H/(1-H)}}$

Однако аналогичные аналитические зависимости для СМО типа  $P/M/1$  или  $P/D/1$ , а также  $W/M/1$  или  $W/D/1$  не известны. Поэтому для данных типов СМО представляет интерес получение приближенных зависимостей на основе имитационных статистических моделей. Поскольку необходимые для имитационного моделирования обратные зависимости от функций распределения Парето и Вейбулла (а также экспоненциального – для сравнения) имеют достаточно простой аналитический вид (табл. 2), то в качестве подходящей программной среды моделирования был выбран *MathCad*. Достоинством выбранной программной среды является возможность сравнения результатов как аналитического, так и имитационного моделирования.

С помощью разработанной имитационной модели были исследованы статистические свойства распределений Парето и Вейбулла, по которым можно судить об их сходстве с теоретическим самоподобным трафиком (1) с различными заданными значениями показателя Херста.

Результаты расчета зависимостей дисперсии агрегированных процессов  $D$  от длины непересекающихся интервалов  $n$  по формуле (2) для распределений Парето, Вейбулла и экспоненциального приведены на рис. 1 (линии с наложенными символами « $\boxtimes$ »), при  $\lambda = 0,5$  и трех значениях параметра Хёрста ( $H = 0,5; 0,7; 0,95$ ), которые были предварительно пересчитаны в параметры распределений  $\alpha$  и  $k$  в соответствии с таблицей 1. На том же рисунке в виде непрерывных линий изображены теоретические зависимости, рассчитанные для тех же значений параметра Хёрста по формуле (1) при  $\alpha = 1/\lambda^2$ .

Как видно из рис. 1, только для вырожденного случая самоподобного трафика при  $H = 0,5$ , соответствующего традиционному трафику с экспоненциальным распределением (нижняя линия), результаты статистического моделирования совпадают с теоретическими результатами. При больших значениях показателя Херста зависимость дисперсии агрегированных процессов от длины непересекающихся интервалов как для распределения Парето, так и для распределения Вейбулла несколько отличается от идеального графика, но в целом отражает замедление убывания дисперсии с ростом значения показателя Хёрста, что подтверждает возможность использования данных распределений для имитации самоподобного трафика.



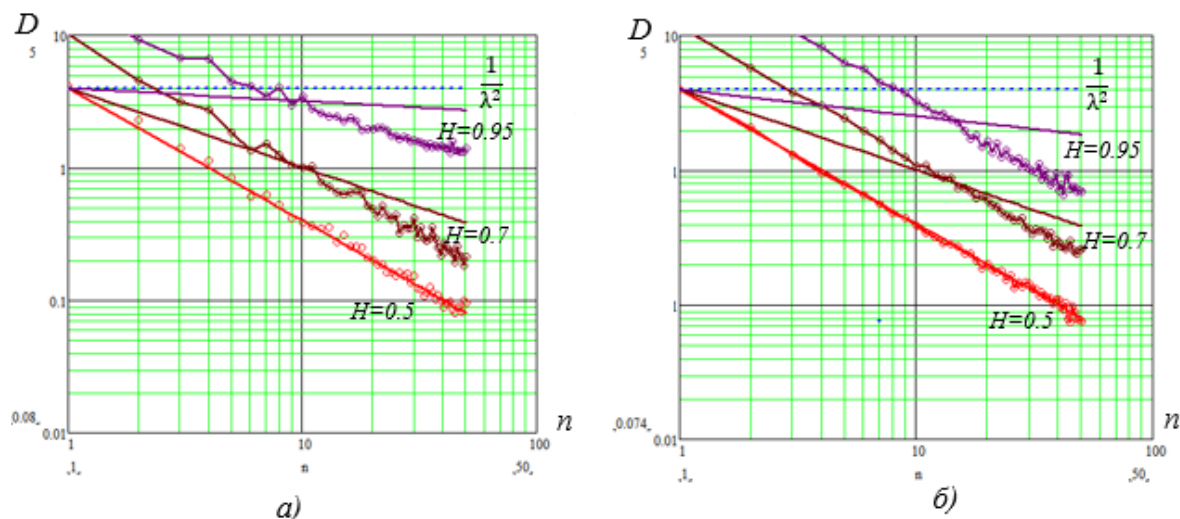


Рис. 1. Зависимости дисперсии агрегированных процессов при  $\rho = 0,5$  от длины непересекающихся интервалов  $n$ : а) Распределение Парето; б) Распределение Вейбулла

С целью выбора наиболее подходящей модели для оценки качества обслуживания самоподобного трафика в УК МС СН наряду с аналитическими моделями  $SMOM/M/1, M/D/1, fbm/M/1$  и  $fbm/D/1$  в среде *Mathcad* были разработаны статистические модели СМО с традиционными потоками  $M/M/1$  и  $M/D/1$ , а вместо СМО с самоподобным трафиком  $fbm/M/1$  и  $fbm/D/1$  были разработаны статистические модели СМО  $P/M/1, P/D/1, W/D/1$  и  $W/M/1$ . Указанные модели были разработаны в виде программ-функций вычисления относительного среднего времени ожидания начала обслуживания  $q$  в зависимости от нагрузки  $\rho$ .

Результаты расчетов с использованием указанных выше статистических моделей приведены на рис. 2 совместно с результатами расчетов с использованием аналитических моделей.

Известно, что распределение Вейбулла при коэффициенте Хёрста близком к значению 0,5 сходится к экспоненциальному распределению, что подтверждается совпадением соответствующих графиков на рис. 2б для  $M/M/1$  и  $W/M/1$ . Распределение Парето такой сходимостью не обладает, что подтверждается несовпадением аналогичных графиков для  $M/M/1$  и  $P/M/1$  на рис. 2а. В то же время при больших значениях коэффициента ( $0,75 < H < 1$ ) распределение Парето приводит к зависимости времени ожидания от нагрузки более близкой к аналогичной зависимости для потока типа фрактального броуновского движения (эталона самоподобного процесса), чем распределение Вейбулла.



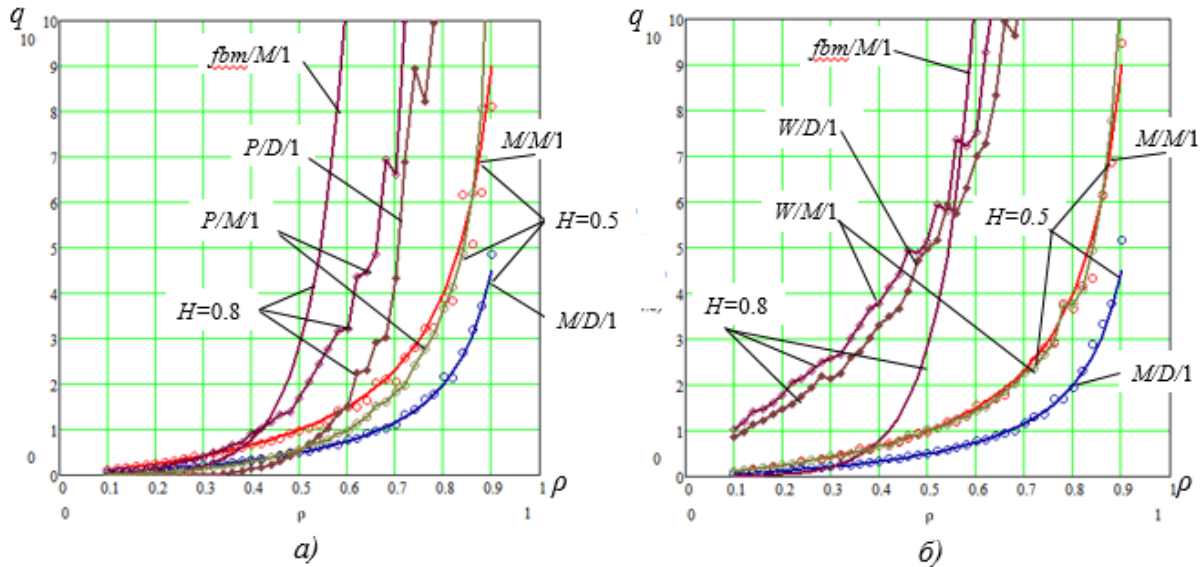


Рис. 2. Зависимости относительного среднего времени ожидания начала обслуживания  $q$  от нагрузки  $\rho$ , полученные с помощью имитационного моделирования: а) Распределение Парето; б) Распределение Вейбулла

Делая вывод из всего вышеизложенного, можно сказать, что существуют удобные для математического моделирования и подходящие для адекватной оценки ПКО самоподобного трафика распределения интервалов времени между моментами прихода очередных пакетов. Это фрактальное броуновское движение, распределения Парето, Вейбулла и другие. При сравнении между собой распределений Парето и Вейбулла посредством имитационных моделей выяснилось, что при небольшом значении коэффициента Хёрста ( $0.5 < H < 0.75$ ) лучше использовать распределение Вейбулла, а при большом ( $0.75 < H < 1$ ) – распределение Парето, что и предлагается учитывать при оценке качества обслуживания информационных потоков (с самоподобными свойствами) в узлах коммутации мультисервисных сетей связи специального назначения.

#### Список используемых источников

1. Назаров А. Н., Сычев К. И. Модели и методы расчета показателей качества функционирования узлового оборудования и структурно-сетевых параметров сетей связи следующего поколения. Красноярск: Изд-во ООО «Поликом», 2010. 389 с.
2. Крылов В. В., Самохвалова С. С. Теория телеграфика и ее приложения. СПб: БХВ–Петербург, 2005. 288 с.
3. Одоевский С. М., Сорокина Е. А., Хоборова В. П. Варианты расчета показателей качества обслуживания информационных потоков в узлах коммутации мультисервисной сети военного назначения // Труды учебных заведений связи. 2016. Т. 2. № 4. С. 92–96.

УДК 501

## МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ АНАЛИЗА ПРИЕМЛЕМОГО РИСКА ДЛЯ БЕЗОПАСНОСТИ НАСЕЛЕНИЯ И ТЕРРИТОРИЙ В УСЛОВИЯХ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

С. А. Панихидников, Н. В. Сакова

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

*Рассматриваются проблемы выбора показателей приемлемого риска для принятия управленческих решений в условиях прогнозируемых чрезвычайных ситуациях. Отмечается практическая значимость при определении критериев приемлемого риска зонирование территорий, которые характеризуются определенной степенью опасности для проживающего населения.*

*риск, приемлемый риск, управленческое решение, чрезвычайная ситуация.*

Формирование управленческих решений по безопасности населения и территорий осуществляется в условиях риска, как меры опасности. Принятие решений с учетом меры опасности достаточно широко используется в развитых промышленных государствах. В связи с этим формирование методологических основ многокритериальной оценки приемлемого риска для безопасности населения и территорий в условиях прогнозируемых чрезвычайных ситуаций целесообразно рассматривать с учетом обобщенного зарубежного опыта.

Опыт показывает, что что всегда существует вероятность возникновения чрезвычайной ситуации и достичь нулевого риска невозможно. В соответствии с принципом ALARA – «as low as practically achievable» [1] (настолько низко, насколько это технически достижимо), необходимо постоянное повышение уровня безопасности, если это технически возможно, независимо от достигнутого.

Требование достижения уровня безопасности с учетом социальных и экономических факторов и прогнозируемых последствий чрезвычайных ситуаций заложено в принципе ALARA – «as low as reasonably» (настолько низко, насколько это разумно достижимо).

На практике реализация этих принципов по критерию разумных затрат при формировании управленческих решений по безопасности населения и территорий выражается в определенных потерях населения, отчуждения или ограничения использования в хозяйственной деятельности сред природопользования.

Объективными показателями техногенных и природных чрезвычайных ситуаций являются количественные показатели риска. При этом индивидуальный риск, который учитывает пространственные координаты [2], используется как мера потенциальной опасности в зарубежном опыте при решении задач зонирования территории прогнозируемых последствий чрезвычайных ситуаций.

Таким образом, в любом сформированном управленческом решении по безопасности населения и территории от прогнозируемых последствий чрезвычайных ситуаций присутствует величина приемлемого риска, уровень которого допустим и обоснован исходя из социально-экономических соображений [1, 3]. Выгоды производства любой экономической отрасли потребляются всем обществом государства, а риску подвергается население, проживающее на территории с прогнозируемыми пространственными координатами поражающих факторов [1].

Для населения, проживающего на территории с прогнозируемыми пространственными координатами поражающих факторов, большую практическую значимость в любом сформированном управленческом решении по безопасности с присутствием величины приемлемого риска представляет определение территорий со степенью опасности, т. е. их зонирования. Это наиболее актуально для небольших по территории промышленно развитых государств, например, Нидерланды. В провинции Лимбург располагаются крупнейшие голландские химические компании, где на производстве аммиака, акрилниттрила, полимеров и других продуктов работают около 10 000 человек. В результате интенсивного развития производства в 1975 г. произошел крупнейший взрыв, в результате которого погибло 14 и пострадало 104 человека.

Последствия чрезвычайной ситуации техногенного характера вызвали необходимость разработки методов зонирования и управления риском в главной промышленной зоне. Было принято решение при количественной оценке риска считать неприемлемым индивидуальный риск при уровне выше  $10^{-6}$  в год, разумным – при уровнях порядка  $10^{-8}$  в год, которые можно считать, не смотря на их «объективную субъективность Нидерландов», опорными точками при обосновании пороговых значений риска.

Большой опыт обоснования приемлемых решений риска для населения вблизи потенциально опасных производств имеется в Великобритании, где учеными были проведены исследования в интересах Комитета по здравоохранению и промышленной безопасности (HSE). Было предложено вместо критерия летального исхода при определении индивидуального риска использовать критерий степени поражения, приводящего к следующим эффектам: каждый человек получает смертельное поражение; значительная часть людей нуждается в медицинской помощи; меньшая часть людей получает серьезные повреждения, требующие длительного лечения; у людей с физиологическими особенностями возможен летальный исход.

Интенсивность степени поражения населения факторами образующихся в результате чрезвычайной ситуации измеряют «опасной дозой», а под риском понимается частота её воздействия на конкретного человека с учётом пространственных координат. HSE установило нижней границей риска величину  $6 \times 10^{-6}$  в год для здоровых людей и  $1/3 \times 10^{-6}$  в год – для ослабленных (престарелые и малолетние дети). Для жилищного и культурно-бытового строительства в районе потенциально опасных объектов HSE определил следующий классификатор зон, которые допускают тип застройки:

внутренняя зона, на внешней границе устанавливается величина риска  $10^{-5}$  в год;

средняя зона, на внешней границе которой устанавливается величина риска  $10^{-5}$  в год;

внешняя зона, на внешней границе устанавливается величина риска  $1/3 \times 10^{-5}$  в год.

Типы застройки разбиты на 4 категории, соответствующие факторам влияющих на степень риска согласно документов HSE: уязвимость людей, относящихся к разным группам населения; часть времени суток, которую проводит человек в определенном месте; количество людей, которые могут находиться в данном здании в момент чрезвычайной ситуации; вероятность нахождения людей в зданиях или вне их с достаточным временем самостоятельного перемещения в укрытие; возможность эвакуации и других экстренных мероприятий; особенности конструкции зданий.

Основные категории застройки, которые могут располагаться в соответствии с правилами СИМАН (Правила контроля промышленной основной опасности) в зонах застройки приведены в таблице 1.

ТАБЛИЦА 1. Основные категории застройки в соответствии с правилами СИМАН

Категория	Объекты
А	Жилые здания, гостиницы, дома отдыха
В	Некоторые предприятия, типа небольших фабрик, контор, магазинов и т. п.
С	Общественные места, места для проведения досуга (большие магазины, рестораны, кафе, бары и т. п.)
Д	Крупные общественные здания (больницы, интернаты для престарелых, школы и т. п.)

Рекомендации о строительстве вблизи потенциально опасных объектов позволяют управлять риском для населения, т.е. снижать риск для населения (табл. 2).

Зарубежные организации и ученые предлагают пороговые значения риска от  $10^{-3}$  до  $10^{-8}$  в год [4]. Дисперсия обуславливается отношением к риску (добровольный или принудительный), уровнем развития промыш-

ленной безопасности в государстве (наименьший критерий – в Голландии), а также различиями в методологии анализа риска.

ТАБЛИЦА 2. Рекомендации HSE  
по строительству вблизи потенциально опасных объектов

Категория	Зона		
	внутренняя	средняя	внешняя
A	Отказать	Требуется дополнительная экспертиза	Без ограничений
B	Без ограничений	Без ограничений	Без ограничений
C	Требуется дополнительная экспертиза	Требуется дополнительная экспертиза	Без ограничений
D	Отказать	Требуется дополнительная экспертиза	Требуется дополнительная экспертиза

В РФ под научным руководством А. Н. Елохина проведена работа по определению критериев приемлемого риска. В работе [5] предлагается следующий состав зон и соответствующие уровни приемлемого риска для населения:

для территорий вблизи существующих потенциально опасных объектов:

- зона недопустимого риска – уровень риска более  $10^{-4}$ ;
- зона жесткого контроля риска – уровень риска менее  $10^{-4}$ , но более  $10^{-4}$ ;
- зона приемлемого риска – уровень риска менее  $10^{-5}$ ;

для территорий вблизи нового строительства уровень риска должен быть снижен для каждой зоны на порядок.

Уровень приемлемого риска для престарелых и малолетних детей должен быть установлен на порядок ниже. В РФ предлагается установить следующие критерии социального риска для населения [5]:

неприемлемым считается риск, когда 25 и более взрослых людей подвергаются опасности с частотой более  $10^{-5}$  в год;

неприемлемым считается риск, когда 25 и более детей, престарелых, больных подвергаются опасности с частотой более  $10^{-4}$  в год, т. е. нельзя строить и эксплуатировать дошкольные и детские учреждения, а также дома престарелых и медицинские стационары.

Таким образом, в РФ предлагается установить следующие критерии приемлемого индивидуального риска для населения на территориях, прилегающих к потенциально опасным объектам (табл. 3) [4].

ТАБЛИЦА 3. Критерии приемлемого индивидуального риска для населения на территориях, прилегающих к потенциально опасным объектам

Наименование зоны	Величина риска
Недопустимого риска	Более $10^{-4}$ в год (для территории вблизи функционирующих объектов) и более $10^{-5}$ (для территорий, примыкающих к вновь строящимся объектам)
Жесткого контроля риска	Между $10^{-4}$ и $10^{-5}$ в год (для территории вблизи функционирующих объектов) и между $10^{-5}$ и $10^{-6}$ (для территорий, примыкающих к вновь строящимся объектам)
Допустимого риска	Менее $10^{-5}$ (для территории вблизи функционирующих объектов) и менее $10^{-6}$ (для территорий, примыкающих к вновь строящимся объектам)

В виду отсутствия общепринятых критериев социального риска в РФ предлагается установить следующие критерии приемлемости социального риска [4]:

Неприемлемым считается риск, когда 25 и более взрослых (соответственно – детей, престарелых, больных) подвергаются опасности с частотой более  $10^{-4}$  (соответственно –  $10^{-5}$ ) в год.

Дальнейшие научные исследования по установлению и принятию критериев приемлемого риска позволит снизить в РФ аварийность в промышленности и могут служить основой для разработки планов действий в чрезвычайных ситуациях и проведению мероприятий по снижению уровня потенциальной опасности промышленных объектов.

#### Список используемых источников

1. Маршал В. Основные опасности химических производств: пер. с англ. М.: Мир, 1989. 672 с.
2. Словарь терминов МЧС [Электронный ресурс]. URL: <http://dic.academic.ru/dic.nsf/emergency/2497/Риск> (дата обращения 20.03.2017).
3. Lees F. P. Loss Prevention in the Process Industries. Butterworths, London, 1980 & Safety of Work, London, March 1981.
4. Елохин А. Н., Елохин А. А. Региональные риски чрезвычайных ситуаций и управление природной и техногенной безопасностью муниципальных образований // Проблемы выбора критериев приемлемого риска : материалы IX всерос. науч.-практ. конф., Москва, 20–21 апр. 2004 г. М. : Триада, Лтд, 2004. С. 281–292.
5. Елохин А. Н. Партнерство во имя жизни – снижение риска чрезвычайных ситуаций, смягчение последствий аварий и катастроф // Научно-методологические основы управления риском и безопасностью населения и территорий : сб. труд. М., 1998. С. 145.

УДК 004.032.26.519.7

## АЛГОРИТМЫ ВЫЧИСЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ОБОБЩЕННОЙ ПОЛИАДИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ И ИХ НЕЙРОСЕТЕВЫЕ РЕАЛИЗАЦИИ

**А. К. Сагдеев, Н. И. Севостьянова, Е. Н. Сидоренко**

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

*Рассмотрены процедуры поиска и коррекции ошибок с использованием коэффициентов обобщенной полиадической системы. На основе проведенного анализа была выбрана математическая модель, реализующая алгоритм перевода из полиномиальной системы классов вычетов в обобщенной полиадической системе. Разработана двухслойная нейронная сеть, осуществляющая данную процедуру за две итерации. Произведен расчет необходимых схемных затрат на ее реализацию.*

*коррекция ошибок, обобщенная полиадическая система, полиномиальная система классов вычетов.*

Анализ известных методов контроля и коррекции ошибки в модульных избыточных кодах довольно часто производится с помощью процедуры перевода чисел из непозиционного кода в обобщенную полиадическую систему счисления. Данные методы, основанные на вычислении коэффициентов промежуточной полиадической системы, в котором  $A(z)$  изображается в виде:

$$A_{(z)} = a_1(z) + a_2(z)p_1(z) + \dots + a_n(z)p_1(z)p_2(z) \dots p_{k+r-1}(z).$$

Если  $p_1(z), p_2(z), \dots, p_{k+r}(z)$ , служат одновременно основаниями модульной системы и обобщенной полиадической системы (ОПС), тогда интервалы изменения цифр разрядов с одинаковыми номерами совпадут. Следовательно, если обеспечить соответствие между основаниями ОПС и основаниями системы классов вычетов, то справедливо:

$$A = (a_1(z), a_2(z), \dots, a_{k+r}(z)) = [a_1(z), a_2(z), \dots, a_{k+r}(z)]. \quad (1)$$

Исходя из условия, что:

$$P_{\text{раб}} = \prod_{i=1}^k p_i(z),$$

выражение (1) имеет вид:

$$A(z) = a_1(z) + \dots + a_k(z)P_{\text{заб}}(z) + \dots + a_n(z)P_{\text{раб}}(z)p_{k+1}(z) \dots p_{k+r-1}(z). \quad (2)$$

Тогда на основании (2) можно сделать вывод о возможности применения коэффициентов ОПС для процедур поиска и локализации ошибки. Данный вывод основывается на том, что, начинаясь с  $k + 1$ -го коэффициента ОПС, в слагаемых равенства (2) в качестве множителя используется  $P_{\text{раб}}(z)$ . Таким образом, если полином  $A(z)$  принадлежит рабочей зоне  $P_{\text{раб}}(z)$ , то старшие коэффициенты ОПС, соответствующие контрольным основаниям должны равняться нулю:

$$a_{k+1}(z) = 0, a_{k+2}(z) = 0, \dots, a_{k+r}(z) = 0.$$

В противном случае полином  $A(z)$  содержит ошибку и находится вне рабочего диапазона системы полиномиальной системы классов вычетов (ПСКВ).

Были довольно подробно рассмотрены основные алгоритмы вычисления коэффициентов обобщенной полиадической системы в полях Галуа. Там же представлены основные нейросетевые реализации данных алгоритмов. На основании проведенных исследований было установлено, что наиболее предпочтительным с точки зрения аппаратных и временных затрат является алгоритм из ПСКВ в ОПС.

Особенность данного алгоритма состоит в том, что наиболее трудоемкий этап перевода остаток – коэффициента ОПС осуществляется путем параллельно-конвейерного вычисления коэффициентов. Существования данного метода обеспечивается в условиях выполнения КТО, согласно которой:

$$A = a_1(z)B_1(z) + \dots + a_{k+r}(z)B_{k+r}(z) = \sum_{i=1}^{k+r} a_i B_i \text{ mod } P_{\text{поли}}(z),$$

где  $B_i(z)$  – ортогональный базис  $i$ -го основания.

Представив ортогональные базисы в виде коэффициентов ОПС, получаем:

$$A = a_1[\gamma_1^1, \gamma_2^1, \dots, \gamma_{k+r}^1] + \dots + a_{k+r}[0, 0, \dots, \gamma_{k+r}^{k+r}],$$

где  $\gamma_i^j$  – коэффициенты ОПС-го ортогонального базиса. Тогда, проведя умножение вычетов  $a_i$  на соответствующие коэффициенты ОПС помодульно и при суммировании результата, коэффициенты ОПС могут быть найдены непосредственно из выражения:

$$a_i = \left| \sum_{j=1}^i \left| a_j \gamma^j \right|_{p_i}^+ \right|_{p_i}^+ + \delta_{i-1} \left|_{p_i}^+, \right.$$

где  $\delta_{i-1}$  – переполнение, полученное при суммировании по модулю  $p_{i-1}$ .

Обладая параллельно-конвейерной организацией вычисления, данный алгоритм наиболее удачно реализуется на основе нейронные сети. Кроме



того, одним из важнейших свойств кодов ПСКВ, определенных в расширенных полях Галуа  $GF(p^v)$ , является отсутствие межразрядных переносов при вычислении результата по модулю  $p_i(z)$ . Это позволяет свести операцию итеративного получения коэффициентов обобщенной полиадической системы к однократной процедуре, определяемой выражением (табл. 1):

$$a_i(z) = \left| \left| \sum_{j=1}^i a_j(z) \gamma^j(z) \right|_{p_i(z)}^+ \right|_{p_i(z)}^+, \quad (3)$$

где  $i = 1, 2, \dots, n$  – количество оснований кода ПСКВ.

ТАБЛИЦА 1. Зависимость коэффициентов ОПС от ошибки для  $GF(2^4)$

Величина ошибки	Коэффициенты ОПС	
	$a_4(z)$	$a_5(z)$
$\Delta a_1 = 1$	$z^3$	$z^3 + z^2 + z$
$\Delta a_2 = 1$ $\Delta a_2 = z$	$z^3 + z + 1$	$z^3 + z^2$
	$z^3 + z^2 + z$	$z^3 + z$
$\Delta a_3 = 1$ $\Delta a_3 = z$ $\Delta a_3 = z^2$ $\Delta a_3 = z^3$	$z^2 + z$	$z^3 + z^2 + z$
	$z^3 + z$	$z^3 + z^2 + z + 1$
	$z^3 + z^2$	$z^3 + z^2$
	1	$z^3 + z$
$\Delta a_4 = 1$ $\Delta a_4 = z$ $\Delta a_4 = z^2$ $\Delta a_4 = z^3$	$z^2 + z$	$z^3 + z^2 + z$
	$z^3 + z^2$	$z^3 + z^2 + z + 1$
	1	$z^3 + z^2$
	$z$	$z^3 + z^2 + 1$
$\Delta a_5 = 1$ $\Delta a_5 = z$ $\Delta a_5 = z^2$ $\Delta a_5 = z^3$	0	$z$
	0	$z^2$
	0	$z^3$
	0	$z + 1$

При этом значение  $|\gamma^j(z)|_{p_i(z)}^+$  заранее учитывает количество превышение модуля  $p_i$  как перенос единицы при суммировании результата. Таким образом, можно свести операцию вычисления коэффициентов ОПС к двухслойной нейронной реализации. Данный принцип преобразования (3) легко реализуется на нейронной сети прямого распространения. Аппаратурные затраты необходимы для реализации данного метода в нейросетевом базисе представлены в таблице 2.

ТАБЛИЦА 2. Количество базисных элементов для устройства

	Разрядность сумматоров	$GF(2^3)$	$GF(2^4)$	$GF(2^5)$
Количество сумматоров	1	1	2	1
	2	1		1
	3	1	2	1
	4	1	1	1
	5		3	3
	6		3	5
	8		2	4
	10			5
	12		1	1
	13			1
	16			1
	18			3
	19			1
22			1	
Количество нейронов		7	52	166
Количество нейронов с учетом первого слоя		14	7	197

Для исследования процессов поиска и локализации ошибки в непозиционном коде полиномиальной системы классов вычетов полей  $GF(2^3)$ ,  $GF(2^4)$ ,  $GF(2^5)$  с использованием коэффициентов обобщенной системы счисления были разработаны математические модели. Проведенные исследования показали высокую эффективность рассмотренного метода. Обнаружение и локализация ошибки осуществления за две итерации независимо от количества оснований ПСКВ. При этом применение коэффициентов ОПС для определения местоположения и глубины ошибки в коде ПСКВ позволяет исправить 100 % однократных и двукратных ошибок, произошедших по одному основанию ПСКВ, а также свыше 95 % двукратных ошибок, возникающих по двум разным модулям непозиционного кода.

Полученные результаты, сведенные в таблицу 2, наглядно свидетельствуют о том, что применение метода обнаружения и коррекции ошибки на основные вычисления коэффициентов ОПС полинома позволило сократить схемные расходы по сравнению с ранее представленными методами вычисления позиционных характеристик.

#### Список используемых источников

1. Калмыков И. А. Математические модели нейросетевых отказоустойчивых вычислительных средств, функционирующих в полиномиальной системе классов вычетов / под ред. Н. И. Червякова. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. 276 с.

2. Калмыков И. А., Щелкунова Ю. О., Гахов В. Р. Математическая модель вычисления коэффициентов обобщенной полиадической системы  $GF(p^v)$ , на основе нейронной сети / Тезисы докладов II Международной научно-технической конференции «Физика и технические приложения волновых процессов», г. Самара, 2003, С. 146.

3. Петлеваный С. В., Калмыков И. А., Сагдеев А. К. Нейронная сеть для вычисления старших коэффициентов обобщенной полиадической системы при помощи полиномиальной системы классов вычетов / Сборник докладов Международной НПК № 2 «Информационные технологии». Кисловодск, 2006. С. 32–33.

4. Калмыков И. А., Петлеваный С. В., Сагдеев А. К., Емарлукова Я. В. Устройство для преобразования числа из полиномиальной системы классов вычетов в позиционный код с коррекцией ошибки. Пат. 2309535 Российская Федерация; заявитель и патентообладатель Северо-Кавказский гос. техн. ун-т. – 2006110493/09; заявл. 31.03.2006; опубл. 27.10.2007.

УДК 621.391.6

## РАСЧЕТ ХАРАКТЕРИСТИК АКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОЙ ЛИНИИ СВЯЗИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ОПТИЧЕСКОЙ МАГИСТРАЛИ

И. Г. Стахеев, А. И. Толмачева, А. А. Яхункина

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

*Современный мир развития технологии в области волоконной оптики. Передача информации на большие расстояния с высокой помехоустойчивостью, надежностью и достоверностью. Наиболее важными элементами волоконно-оптической линии связи являются активные компоненты, характеристики которых имеют непосредственное влияние на передачу информационного потока.*

*передача информации, ВОЛС, оптические устройства, активные элементы.*

Достигнутый человечеством современный мир в области технологий невозможно представить без волоконной оптики. Волоконно-оптические линии связи (ВОЛС) используются для доставки больших информационных объемов с максимальной скоростью на значительные расстояния. Преимуществами ВОЛС являются высокая помехоустойчивость, невозможность несанкционированного доступа и высокая достоверность [1, 2, 3].

В статье речь пойдет о рекомендациях по расчету характеристик активных элементов ВОЛС. ВОЛС включает в состав активные и пассивные элементы, как известно, первые играют главную роль при проектировании линии связи. Поэтому при планировании такой линии необходимо учиты-

вать характеристики этих элементов. При расчете основных характеристик, которые непосредственно влияют на качество, надежность, безопасность информации и ее пропускную способность, необходимо руководствоваться параметрами, приведенными в данной статье.

Передача информации на большие расстояния при условии, что в качестве источника оптического излучения выбираем лазерный диод с длиной волны 1,55 мкм и выходной мощностью, не превышающей 1 мВт.

Для этого необходимо рассчитать ширину линии излучения по формуле:

$$\Delta\lambda = \sqrt{\frac{1}{P_{\text{ПЕР}}} \sum_{i=1}^N p_i (\lambda_i - \lambda_0)^2}$$

Для осуществления переноса информации используют оптические модуляторы. В оптической электронике предпочтение отдается амплитудной и фазовой модуляции.

Важнейшей характеристикой модуляторов является глубина модуляции, которая рассчитывается по формуле:

$$\eta = (I_{\text{max}} - I_{\text{min}}) / I_{\text{max}},$$

где:  $I_{\text{max}}$  и  $I_{\text{min}}$  – интенсивности света при полностью открытом и закрытом состоянии модулятора.

Для осуществления модуляции необходимо, чтобы управляющий сигнал воздействовал на свет, то есть работа оптического модулятора должна основываться на процессах взаимодействия света с веществом.

Увеличению информационной емкости ВОЛС способствует мультиплексирование, применяемое для объединения и разъединения сигналов с различными несущими длинами волн. Мультиплексоры и демультиплексоры устанавливаются после передающих и перед принимающими устройствами, и характеризуются вносимыми потерями.

Вносимые потери выражаются по формуле:

$$\alpha = -10 \log \left( \frac{P_1}{P_0} \right),$$

где:  $P_0$  – оптическая мощность, вводимая во входной порт, а  $P_1$  – оптическая мощность, полученная из выходного порта.

Для обеспечения непосредственного усиления сигналов, без их преобразования используют оптические усилители. Для того, чтобы спроектировать линию необходимо использовать нужное количество оптических усилителей, которые устанавливаются на определенном расстоянии от передающего устройства.

Коэффициент усиления оптического усилителя определяется из соотношения:

$$G = P_{\text{СВЫХ}} / P_{\text{СВХ}},$$

где  $P_{\text{СВХ}}$  и  $P_{\text{СВЫХ}}$  – мощности (полезных) сигналов на входе и выходе усилителя.

В общем случае, коэффициент усиления оптического усилителя зависит от длины волны и мощности входного сигнала.

Шум-фактор показывает, как сильно возрастает шум в усилителе по сравнению с полезным сигналом, и определяется как отношение сигнал/шум на входе к отношению сигнал/шум на выходе.

$$NF = \frac{P_{\text{СВХ}}}{P_{\text{ШВХ}}} / \frac{P_{\text{СВЫХ}}}{P_{\text{ШВЫХ}}}.$$

Для приема информационного потока используют оптические приемники обработки неуравновешенных сигналов, которые имеют свои преимущества, максимально возможное отношение сигнал/шум и максимальную чувствительность. Предложенное решение реализовано в приемнике OMRD-05-C. Он предназначен для применения в комплекте с передающим модулем OMTD-05-C-s. Для работы комплекта из OMTD-05-C-s и OMRD-05-C используется инверсное включение передатчика. Это позволяет при минимальной полосе устройства получить минимальное искажение длительности обрабатываемых сигналов и максимальную чувствительность.

Немаловажным фактором является и расчет оптического бюджета проектируемой ВОЛС. Оптический бюджет – это разница двух показателей, оптической мощности средства передачи и уровня чувствительности приемника. Оптическая система состоит из элементов, разделенных на две группы: элементы, создающие сигнал и их усилители и элементы, которые снижают мощность сигнала. Оптическая система может работать только при условиях превышения мощности сигнала над затуханием. Проверяется работоспособность системы, с помощью расчета: мощность – потери.

Таким образом, было проведено рассмотрение характеристик активных элементов, которые влияют на требования к ВОЛС:

- малое затухание сигнала;
- высокая пропускная способность;
- высокая надежность;
- информационная безопасность;
- высокая защищенность.

#### Список используемых источников

1. Складов О. К. Современные волоконно-оптические системы передач / научный редактор А. Гриф. М.: СОЛОН-Р, 2001. 237 с. ISBN 5-93455-069-1.
2. Гроднев И. И. Волоконно-оптические линии связи: учеб. пособие для вузов. М.: Радио и связь, 1990. 224 с. ISBN 5-256-00395-X.

3. Мельников С. В., Стахеев И. Г., Титова О. В. Основные характеристики элементов волоконно-оптического линейного тракта специального назначения / Бюллетень результатов научных исследований. 2015. Вып. 2 (15) 2015. С. 49–61.

УДК 621.391.6

## РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РАСЧЕТУ ХАРАКТЕРИСТИК АКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОЙ ЛИНИИ СВЯЗИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ОПТИЧЕСКОЙ МАГИСТРАЛИ ПРОТЯЖЕННОСТЬЮ 150 км

И. Г. Стахеев, А. И. Толмачева, А. А. Яхункина

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

*Современный мир развития технологии в области волоконной оптики. Передача информации на большие расстояния с высокой помехоустойчивостью, надежностью и достоверностью. Наиболее важными элементами волоконно-оптической линии связи являются активные компоненты, характеристики которых имеют непосредственное влияние на передачу информационного потока.*

*передача информации, ВОЛС, оптические устройства, активные элементы.*

Достигнутый человечеством современный мир в области технологий невозможно представить без волоконной оптики. Волоконно-оптические линии связи (ВОЛС) используются для доставки больших информационных объемов с максимальной скоростью на значительные расстояния. Среди преимуществ этой линии – высокая помехоустойчивость, невозможность несанкционированного доступа, а также достоверность [1].

Стремление к увеличению пропускной способности канала связи привело к появлению широкого спектра активных компонентов для ВОЛС. Однако вместе с ростом пропускной способности росло и их потребление. Так, при обмене на скорости 155 Мбит/с потребляемый ток приемопередатчика может составлять сотни миллиампер, а на скорости 10 Гбит/с уже достигать единиц ампер. Желание минимизировать потребляемую мощность активных компонентов для ВОЛС привели к созданию комплекта волоконно-оптических модулей. Основными требованиями являются:

– стабильная работа в широком температурном диапазоне от –40 до 60°C;

– энергетический бюджет, достаточный для организации устойчивой связи на расстоянии более 100 км;

– возможность использования модулей в комплекте с пассивным двухволновым мультиплексором для организации связи по одному волокну.

Из перечисленных требований следует, что комплект должен передавать неуравновешенные сигналы, в свою очередь, это определяет свои требования к функционированию передающего и приемного модулей. Передающий модуль должен преобразовывать сигналы в нужный формат беспрепятственно и без влияния на длительность передачи. Кроме того, он должен иметь возможность при необходимости производить обратное преобразование, что важно для реализации выбранного метода обработки сигнала [2].

Итак, вернемся к поставленной задаче. Передача информации на расстояние более 100 км, если в качестве источника оптического излучения выбрать лазерный диод с длиной волны 1,55 мкм и выходной мощностью, не превышающей 1 мВт.

Можем рассчитать ширину линии излучения по формуле:

$$\Delta\lambda = \sqrt{\frac{1}{P_{\text{ПЕР}}} \sum_{i=1}^N P_i (\lambda_i - \lambda_0)^2}.$$

Для осуществления переноса информации используют оптические модуляторы. В оптической электронике предпочтение отдается амплитудной и фазовой модуляции.

Важнейшей характеристикой является глубина модуляции, которая рассчитывается по формуле:

$$\eta = (I_{\text{max}} - I_{\text{min}}) / I_{\text{max}},$$

где  $I_{\text{max}}$  и  $I_{\text{min}}$  – интенсивности света при полностью открытом и закрытом состоянии модулятора.

Для осуществления модуляции необходимо, чтобы управляющий сигнал воздействовал на свет, то есть работа оптического модулятора должна основываться на процессах взаимодействия света с веществом.

Увеличению информационной емкости ВОЛС способствует мультиплексирование, применяемое для объединения и разъединения сигналов с различными несущими длинами волн. Мультиплексоры и демультиплексоры устанавливаются после передающих и перед принимающими устройствами, и характеризуются вносимыми потерями.

Вносимые потери выражаются по формуле:

$$\alpha = -10 \log \left( \frac{P_1}{P_0} \right),$$

где  $P_0$  – оптическая мощность, вводимая во входной порт, а  $P_1$  – оптическая мощность, полученная из выходного порта.

Для обеспечения непосредственного усиления сигналов, без их преобразования используют оптические усилители. Для того, чтобы спроектировать нашу линию необходимо использовать один оптический усилитель, который устанавливается через 100 км от передающего устройства.

Коэффициент усиления определяется из соотношения:

$$G = P_{\text{СВЫХ}} / P_{\text{СВХ}}$$

где  $P_{\text{СВХ}}$  и  $P_{\text{СВЫХ}}$  – мощности (полезных) сигналов на входе и выходе усилителя.

В общем случае, коэффициент усиления оптического усилителя зависит от длины волны и мощности входного сигнала.

Шум-фактор показывает, как сильно возрастает шум в усилителе по сравнению с полезным сигналом, и определяется как отношение сигнал-шум на входе к отношению сигнал-шум на выходе.

$$NF = \frac{P_{\text{СВХ}}}{P_{\text{ШВХ}}} / \frac{P_{\text{СВЫХ}}}{P_{\text{ШВЫХ}}}$$

Для приема информационного потока используют оптические приемники для обработки неуравновешенных сигналов, которые имеют свои преимущества: максимально возможное отношение сигнал/шум и максимальную чувствительность. Предложенное решение реализовано в приемнике OMRD-05-C. Он предназначен для применения в комплекте с передающим модулем OMTD-05-C-s. Для работы комплекта из OMTD-05-C-s и OMRD-05-C используется инверсное включение передатчика. Это позволяет при минимальной полосе устройства получить минимальное искажение длительности обрабатываемых сигналов и максимальную чувствительность.

Таким образом, было проведено теоретическое проектирование ВОЛС протяженностью 150 км. Рассмотрели активные компоненты, необходимые для построения линии связи и разобрались с характеристиками этих элементов.

#### Список используемых источников

1. Складов О. К. Современные волоконно-оптические системы передач / научный редактор А. Гриф. М.: СОЛОН-Р 2001. 237 с. ISBN 5-93455-069-1.
2. Гроднев И. И. Волоконно-оптические линии связи: учеб. пособие для вузов. М.: Радио и связь, 1990. 224 с. ISBN 5-256-00395-X.



---

## ANNOTATIONS

### PLENARY MEETING

**Prisyazhnyuk S., Avanesov M., Prisyazhnyuk A.** Actual Problems of GIS in Infotelecommunication. – PP. 6–8.

*In the information age of the intensive development of information telecommunications and their widespread implementation, new approaches to their creation and application are needed, taking into account geospatial information. Geoinformation reality is such that there is an objective need for geospatial information about the space-time structure of the Earth in the universe for each individual and organizations of all kinds (including states).*

**Key words:** geospatial information, infocommunication technologies, communication, cognitive network, object-oriented approach.

**Glushakov R., Kirichek R., Pirmagomedov R.** The Internet of Nano-Things: a Step Towards Personalized Medicine – a Jerk to the Future. – PP. 8–14.

*Nowadays, the Internet of Things is one of the factors determining the development of the communication industry. According to this concept, key elements in the communication networks are devices connected to the Internet, creating data with new parameters that are not typical for voice, video and data. The Internet of Things has leaked into various branches and spheres of life, counting a huge number of applications. One of the new directions are medical applications. A distinctive feature of such applications is miniaturization to the nanoscale in order to integrate sensors and actuators into live organisms. The concept of creating nanoscale telecommunication devices capable of transmitting data locally and through the Internet has been called the Internet of Nano-Things, and the nanodevices themselves are nanonetworks. Due to the fact that the Internet of Nano-Things is on the beginning of active research, the paper acquaints readers with both general approaches from the medical point of view and a technical view of the organization of information exchange with nanodevices located in a live organism.*

**Key words:** medical applications, graphene, nanonetwork, Internet of Nano-Things, sensor network, immunotolerance.

**Kondrashov Z.** Elbrus computing and digital economy. – PP. 14–21.

*Modern world can not be imagined without computers and information systems. Computing allows us to interpret information from Internet. In Russia, software and hardware complex Elbrus designed to meet the latest advances in the field of computing.*

**Key words:** digital economy, computing, software and hardware complex Elbrus.

**Sakharov D., Skakun A.** Interaction and cooperation between State authorities and Higher education institutions to provide training for the state service. – PP. 21–26.

*The article discusses the background, principles, forms and methods of possible cooperation of public authorities and Higher education institutions to prepare personnel for state service on the example of interaction of Federal Service for Supervision of Communications, Information Technology and Mass Media with Institutions of higher education.*

**Key words:** Federal Service for Supervision of Communications, Information Technology and Mass Media; The Bonch-Bruевич Saint-Petersburg State University of Telecommunications; Saint-Petersburg State University; state service; staff; young professionals; practice of students; employment of graduates; career.

### RADIO NECHNOLOGY COMMUNICATION

**Aleksandrov A., Ponamarev N., Ukrainskii O.** About the Gated Viewing Imaging Method in Television Cameras for Underwater Research. – PP. 27–30.

*The underwater television is usually used for obtain an image of objects in a difficult optical conditions, that is why it is important to use a gated viewing method for underwater research. The gated viewing method has been developed to gain knowledge about underwater objects. In the article had described, that it is very important to use the CCD television cameras and light sources with short-time characteristics. The research of this method must be continued and used for underwater objects detection, classification and identification.*

**Key words:** Gated viewing method, television, CCD camera, light source.

**Aleksandrov I., Antipin B., Spirin A.** Radio Emission Sources Location in a Complex Environment. – PP. 31–35.

*The algorithm of radio emission sources location based on signal level measurements, focused on the use in a complex environment, characterized by the presence of natural obstacles and elements of urban, is considered. The algorithm is implemented in the VHF/UHF spectrum monitoring unit. The unit thorough testing showed the possibility of obtaining practically relevant results of the emitters location estimate in real conditions, including surrounded by dense urban development.*

**Key words:** spectrum monitoring, position location, complex environment, hardware-software processing.

**Alimbaev A., Uss V., Shumakov P.** Bench research polymer battery sources. – PP. 35–39.

*Implemented stand and the algorithm of examination of batteries and INSTRAW. Produced tests.*

**Key words:** NI USB 6001, LabVIEW, inistry, testing of batteries.

**Al-Ameri H., Steputin A.** Special Considerations of the use of Unlicensed Radio-Frequency Spectrum in the Heterogeneous Networks LTE. – PP. 39–44.

*The building of a heterogeneous network allows for the capacity network to be increased and improve its coverage area. However, the subscriber load in heterogeneous networks LTE*

*is irregularly distributed across a network service area. The existing mechanisms of load-balancing that were described in the 3GPP specifications don't address this issue fully. This article outlines load balancing mechanisms in multiservice heterogeneous networks standard LTE by use of the unlicensed radio-frequency spectrum.*

**Key words:** LTE-U, load balancing, unlicensed spectrum, WiFi, LAA, LWA, LBT.

**Al-Odhari A.** Research of the Impact of Geometric Factor in Range-Difference Method. – PP. 44–48.

*The geometric arrangement of the receiving stations and the radiation source has an impact on accuracy. The most general parameter used to assess the impact of the geometry on the final accuracy is the Geometrical Dilution of Precision (GDOP). The GDOP is a measure of how much the location error that results from Time Difference measurement errors depends on the radiation source / receiving stations relative geometry.*

*In this paper, we estimate the effect of the geometrical Dilution of Precision of the receiving stations and the radiation source on the positioning accuracy.*

**Key words:** Range-difference method, the Geometrical Dilution of Precision, Gauss-Newton algorithm, location determination, radiation source.

**Al-Osaimi H., Bogachev A., Ryzhkov A.** NB-IoT Technology in LTE Networks. – PP. 49–53.

*New wireless Internet of Things standard NB-IoT is introduced on the physical level. Frequency bands are defined. Traffic channels parameters, transport block formats are presented taking into account the differences in downlink and uplink channel structure.*

**Key words:** NB-IoT, LTE, physical channel, block format, resource unit.

**Al-Osaimi H., Grusdeva N., Ryzhkov A.** LTE Standard Development toward 5G. – PP. 54–58.

*LTE network evolution toward 5G is discussed as well as new tendencies in frequency band aggregation for data rate increase. Having been specified in 2016 LTE new services and technologies: narrowband IoT, MCPTT and V2X, are presented.*

**Key words:** LTE, network, band aggregation, new services, new technologies.

**Andreev R., Babaev N., Bobrova E., Kachnov A.** The Implementation of Swap Procedure in Mobile Network. Aims, Objectives and Results. – PP. 59–62.

*The article considers aims and objectives of base stations equipment replacement by network operators. The reasons of replacement are given by both sides – operators and telecom equipment vendors. The results of Swap in particular network are summed up in the article.*

**Key Words:** Swap, Single Run, refarming, telecom equipment, base stations, replacement.

**Andropov A., Kirik D.** Investigation of the Influence of the Input Impedances of the Antenna Elements of the Turnstile Antenna on the Parameters of the Polarization Ellipse. – PP. 62–66.

*A turnstile antenna consisting of variable symmetrical vibrators connected to the terminals of the phase difference scheme carrying out the quadrature power supply of the antenna elements. The effect of the unbalance of the input impedances of the antennae elements*

*on the parameters of polarization ellipse of the antenna is analyzed. For this purpose, a numerical calculation was made in the program AWR Microwave office where different types of loads were connected to the outputs of the circuit simulating the input impedances of the antenna.*

**Key words:** Phase difference scheme, antenna, ellipticity.

**Anikin V., Gavrish R., Korjakin D., Meshalkin V.** Main Approaches to Miniaturization of Antennas. – PP. 66–68.

*Today, there is considerable interest in the study of the properties and characteristics of electrically small antennas, which possess a wide and super-wide range of operating frequencies. Interest in such antennas ensured the rapid development of communication systems, which require the implementation of a number of special design requirements. Firstly, the need to ensure sufficient bandwidth to cover the required operating frequency range, the ratio of ten boundary frequency operating range. Second, achieving small dimensions the antenna structure to be placed on a single board with the transceiver module and saving of space used. Third, to ensure electromagnetic compatibility.*

**Keywords:** operating range, antenna, load, the dielectric constant.

**Babin N., Danilovich. O.** Statistical Characteristics Subrefraction Components of the Unstable Communication in Low Heights of the Antennas at Intervals of RRL. – PP. 69–73.

*Taking into account the specific characteristics of the territory of Russia (large distances, uneven population density, harsh climatic conditions and lack of modern infrastructure in many areas) an important role in the communication networks for various purposes play a radio relay line (RRL). One of the most challenging problems in the design of RRL is impacted subrefraction fading signals when selecting the suspension height of the antenna and calculating the transmission quality at intervals.*

*In this article we consider problems associated with the effect subrefraction fading at intervals DRRL: a study of differences minimum elevation of the antennas is selected in accordance with the above methods, and to assess the impact of this difference on subrefraction components of quality indicators of the transmission for different radioluminescence areas of Russia.*

**Key words:** subrefraction fading, performance of transmission quality, the minimum antenna heights.

**Matveykin G., Bagirov R.** Atmospheric-Optic Communication Lines. LI-FI, Innovation, Perspectives, Innovations. – PP. 74–77.

*Describes the principles of work of technology Li-Fi, characteristics, advantages, prospects of development and application in various fields. The prospects of these technologies is very high, due to the unique operating principles and capabilities of the solution set of problems that are beyond the power of other types of wireless communication*

**Key words:** Li-Fi, VLC, wireless communication systems, atmospheric-optic communication lines.

**Bakhturin A., Volkov Y.** Selection of Objects on Specked SAR Images. – PP. 77–82.

*For modern radar systems there are strict requirements such as the resolving power. For the fulfillment of these requirements, UHF and microwave ranges must be used. Because*

*of this, a situation when the wavelength of the wave is comparable or smaller than the objects under study is formed. As a result, a random interference pattern occurs, random phase shifts and random set of intensities are present. This kind of noise is called speckle noise. It significantly complicates the process of obtaining useful information from an image. The issue of speckle noise filtration is a promising and actual direction for many areas of technology.*

**Key words:** Adaptive filtering, coherent signal accumulation, spatially-oriented filtering, radio location, SAR, speckle noise, speckle structure, speckle pattern.

**Bashmakov P., Isupova E., Kapralov D., Kirik D.** Improving the Efficiency of Data Transfer in HF Radio Communication Systems Using MIMO Technology. – PP. 82–86.

*Until recently, HF communication was the main type of backbone radio communication, however, because of the impossibility of a significant increase in the channel capacity and deterioration of signal propagation conditions, HF radio systems began to transfer to the category of standby types of communication. It is known that communication systems are characterized by special propagation conditions, which are distinguished by considerable multipath, which makes the HF band an ideal candidate for use in multi-antenna MIMO systems. Previous MIMO studies focused primarily on wireless communication in the VHF band, but the existing experimental data provide an idea of the MIMO potential for HF radio communications, the use of which, in the long term, will expand the list of modern telecommunications services provided to the end-user.*

**Key words:** HF radio communication, MIMO, increasing the efficiency of data transmission.

**Bashmakov P, Kapralov D, Kirik D.** Rotated Constellations for Improved Time and Frequency Diversity in DVB-NGH. – PP. 86–92.

*In this paper, we investigate the potential gains that can be obtained with rotated constellations in DVB-NGH, the next generation mobile broadcasting standard. Rotated constellations exploit the concept of signal-space diversity (SSD) to increase the diversity order of bit-interleaved coded modulation (BICM) at the expense of higher demodulation complexity without the need of additional transmission power or bandwidth. Two-dimensional rotated constellations (2DRC) were originally included in DVBT2 (Terrestrial 2nd generation) to improve the reception robustness in fading channels. DVB-NGH inherits the same 2DRC from DVB-T2 and includes four-dimensional rotated constellations (4DRC) for certain configurations. Moreover, the standard has adopted a new component interleaver optimized for the utilization of rotated constellations with long time interleaving (TI) and time-frequency slicing (TFS). To investigate the potential gains of 2DRC and 4DRC we employ an information-theoretic approach based on mutual information as well as physical layer simulations in DVB-NGH systems.*

**Key words:** Bit-interleaved coded modulation, DVB-NGH, DVB-T2, time interleaving, rotated constellations, time-frequency slicing.

**Belova E.V., Buchatsky A. N., Evstafyeva I. V.** Problem of Efficiency of Perception of Information in Training Videos. – PP. 93–97.

*The article deals with psychological and technical aspects of perception of information in training video films. The example of a variety of mental processes shows the parameters of video films that affect the effectiveness of their perception. The relevance of the topic studied, as well as the prospects for further empirical research, has been determined.*

**Key words:** Teaching videos, distance learning, the effectiveness of perception, the effectiveness of teaching.

**Borisov G., Tumashov A.** Mathematical Model of the Multicoil Shielded Loop Antennas. – PP. 97–103.

*A mathematical model of a shielded loop antenna with N-number of turns is proposed. Schemes of a shielded single- and double-turn loop antenna are presented. The two-turn loop antenna is considered as a parallel-cascade connection of two six-ports. The matrix Y-parameters of parallel-cascade connection of two six-poles.*

**Key words:** Shielded loop antenna, six-port, Y-parameter matrix.

**Borisov E., Golod O., Egorov S.** Modeling of Information System. – PP. 104–107.

*The report reviewed the structure and operation of a specialized information system designed to determine the location of operating radar beams relative to the information system. The basic equations for calculating range and angle of sight of the radio source. Modeling of information system taking into account the stochastic nature of the information signal received at the input of the system. It is shown that the main reasons of errors in determining the location of the radiation source are fluctuations of the leading edge of the information signals on the various beams of the system.*

**Key words:** information system, a radiation source, a random signal, location.

**Borisov E., Mitlash A., Poddubnyy S.** Bistatic Radar Systems with Space-Time Emitted Signals. – PP. 108–112.

*The article discusses the application of space-time signal in bistatic radar system. The use of signals of this type makes it possible to extend the capabilities of bistatic radars on measuring the coordinates of objects.*

**Key words:** space-time signal, bistatic radar system, positional accuracy measurement.

**Buchatsky A., Kulikov S.** Research of SFN Work Features in DVB-T2. – PP. 112–115.

*Single-frequency network (SFN) – a network of transmitting stations in which broadcasting is carried out on one frequency. This technology allows the use of multiple transmitters operating at the same frequency and covering adjacent areas. In this case, the use of one frequency channel occurs without significant mutual influence of the transmitters on each other due to the technological features of the DVB-T2 system. The report describes the conditions for the existence of a single-frequency network.*

**Key words:** SFN, DVB-T2.

**Kuzmin S., Vasilyev E.** The Concept of Software for the Synthesis of Radiation Patterns of Phased Array Antennas, Taking Into Account the Radar Equation in Combined Radio Communication Systems and Secondary Radar. – PP. 116–120.

*Increasingly, radio communication and secondary radiolocation systems are combined to solve a wide range of tasks and to improve the weight and size of equipment, which is especially important for unmanned aerial vehicles. At the same time, antenna requirements are toughened in particular to their radiation patterns, beam control speed, the formation of radiation patterns of special shape, adaptation. Only antennas of the type of phased array can*

*satisfy the modern requirements, and increasingly active phased array and digital active phased array. One of the fundamental problems in the construction of a phased array is the synthesis of its amplitude-phase distribution. To simplify and visualize the synthesis procedure, a software concept is proposed that will allow to observe changes in the combined radio communication channel and radar, depending on the changing amplitude-phase distribution on the aperture, the height of the antennas, the sensitivity of the receivers and other parameters of the radio channel.*

**Key words:** Phased array antenna, interactive data visualization.

**Vinogradov E.** Comparative Analysis of Certain Techniques for Electromagnetic Compatibility Estimation. – PP. 120–125.

*Certain techniques for electromagnetic compatibility estimation of radio electronic devices which have been developed to be used by the radiofrequency service in Russian Federation and some foreign techniques are considered. Their capabilities and application areas are discussed.*

**Key words:** electromagnetic compatibility, out-of-band emissions, spurious emissions, non-linear effects, EMC criteria.

**Volokobinsky E.** Calculation of Conductivity of Inhomogeneous Layers with Inclusions Taking into Account Boundary Effects. – PP. 125–127.

*The conductivity of the layers of composite materials (CM) with semiconducting inclusions is calculated. In particular, for cases where the entire lower surface is metallized, the potential on it is zero. And the potential of the upper electrode is assumed equal to  $V$ . It is shown that the potential along the thickness of the sample far from the edge of the electrode is determined by the formula containing the correction for the edge effect. In addition, cases of different arrangement of electrodes on the sample are considered. The expressions obtained make it possible to calculate the potential of the electric field and conductivity, taking into account the boundary effects, that is, the contribution of boundary effects to the conductivity of CM with inclusions.*

**Key words:** inclusions, boundary effects, conductivity, calculation.

**Vorobyov O., Rybakov A.** Option Enable Bidirectional Communication in SMS (System Meteor Communication). Description Software-Hardware Complex SMS. – PP. 128–133.

*A solution to the problem by creating a software-hardware complex. The variant of implementation. Shows the results of experimental testing of technical solutions.*

**Key words:** meteor radio communication (MS), telecommunications, meteor communications, transmission channel, frequency division of channels (FDMA), frequency filters, time division channels, code division channels (CDMA).

**Vylegzhanin A.** Application of “on-off” Models in Investigation of Servicing Packets in Satellite Communication Network. – PP. 133–138.

*Process of servicing packets in satellite communication network representing in multichannel queueing system, in terms of three-dimensional markov chain. Defined parameter that regulates amount of allocated resource bandwidth capability of satellite communication network depended on traffic intensity transmitting from earth station.*

**Key words:** satellite communication network, “on-off” model, capacity resource of communication network, chain of markov, system condition.

**Gogol A., Tumanova E.** Assessment of Television and Network Parameters Influence on Three-Dimensional Quality. – PP. 138–143.

*The quality of the television image, including the three-dimensional image, is determined by the parameters of the transmission system. These parameters can be: television parameters (definition, brightness, frame rate, etc.), and network parameters (the number of lost packets, bandwidth, jitter, etc.). This article shows the results of an experimental study of the television and network parameters influence on the three-dimensional television image quality.*

**Key words:** quality assessment, three-dimensional image, definition.

**Grineva A., Zhukovskij I., Stepanov A.** Implementation of Artificial Neural Networks on Element Base with Ultra-Low Power Consumption. – PP. 143–148.

*The article describes implementation of artificial neural networks on the element base with ultra-low power consumption, which is the microcontroller by Texas Instruments. When implementing artificial neural networks, the traditional C-code writing technique and the technology of C-code automatic generation including Simulink dynamic modeling subsystem were used.*

**Key words:** artificial neural network, microcontroller, implementation, integrated development environment.

**Gurevich V.** Accumulation of Jitter in the Digital Channel. – PP. 148–153.

*The present paper relates to a clock synchronization circuit to be used for symbol-by-symbol reception of digital signal in a communication system. In the conventional clock synchronization circuit synchronization pulses are formed from the input signal of the regenerator using resonant circuits, band pass filters and PLL devices. Due to the random structure of the input signal and other factors, the phase sampling timing of the output pulses of the regenerator fluctuate relative to the clock points. Phase jitter accumulates from the regenerator to the regenerator. In the paper, the regularities of accumulation of in-phase jitter in a digital channel containing a big number of regenerators are investigated.*

**Key words:** jitter, digital transmission system, regenerators, symbol-by-symbol reception, phase dispersion, random pulse process, phase transition characteristic.

**Gurevich V., Devyatkin D., Kharkov O.** Analysis of Radio Access System with Quadrature Modulation Real Noise Immunity While Dephasing the Reference Oscillation. – PP. 154–159.

*Consider the effect of dephasing the reference oscillation on noise immunity of radio access system with quadrature modulation. There are theoretical calculation, math and computer models, which predictive energy and probability parameters of a signal while harmful effects. Computer program has been developed, and this product allows modulating main parameters of radio access system.*

**Key words:** modulation, QAM, QPSK, signal, spectrum, probability of error, radio access system.



**Gurevich V., Egorov S.** Influence of Nonlinear Distortions of Broadband Signals on the Accuracy of the Positioning System. – PP. 159–163.

*Accuracy of location of objects in space is the most important indicator of the quality of radar complexes. A method for determining the location of a radio emission source based on the use of broadband signals is considered. Distortions of signals with direct spreading of the spectrum caused by the nonlinearity of the amplitude characteristics of the transmission paths under the influence of additive white Gaussian noise are investigated. Estimations of positioning accuracy obtained by computer simulation are given.*

**Key words:** nonlinear distortions, nonlinear amplifier, DS-CDMA, spread spectrum signals, subscriber radio access system, correlation properties, multiple access interference, a radiation source, a random signal, location.

**Deshina N., Kubalova A., Ryzhikova T.** Designing Microwave Steppe Elliptic Filters. – PP. 163–169.

*The design methods of microwave stepped elliptical filters are widely used in the development of modern radar systems, they provide high electrical characteristics in comparison with existing radio systems, are miniaturized and convenient to operate.*

*Step-by-step elliptic filters in the design allow for two options: input and output from one side of the filter and input and output from different sides of the filter. This feature allows the engineer-developer to include a filter in the radio equipment according to a different scheme. By including in the electric circuit of the elliptic filter not two single elements, as in a conventional stepped elliptic filter, but four elements, it is possible to convert the two-port elliptic filter into a four-port filter. The method of designing the elliptic Rhodes filter is described in detail*

**Key words:** step filters, radio systems, the Rhodes filter, multi-wire lines.

**Deshina N., Kubalova A., Ryzhikova T.** Designing Narrowband UHF with Elliptical Attenuation Characteristic. – PP. 169–174.

*Elliptical UHF filters offer greater frequency selectivity and a smaller number of links compared to ordinary polynomial filters with the same attenuation characteristics requirements. Particularly significant is the gain in the number of links, if you want a narrow transition zone. Reducing the number of links from an elliptical filter reduces losses in bandwidth, reduces weight and dimensions. A promising structure for narrowband filter is a system that is composed of a short-circuited paralleled grids linked strip lines and does not require the mandatory application of the dielectric, however, is highly resistant to mechanical stress. This structure with elliptical attenuation feature allows various modifications when implemented and deserves careful study.*

**Key words:** MICROWAVE filters, elliptical filters, attenuation characteristics, bandwidth.

**Dukelskiy K., Kirik, D., Kovaleva T., Pustarnakova Y.** Shielding Materials for Information Communication Systems. – PP. 174–178.

*The paper presents results of development of new shielding materials to solve reduce interference and improve electromagnetic compatibility RF and microwave electronics, by reducing the level of electromagnetic radiation arising from the operation of information communication systems.*

**Key words:** electromagnetic radiation, reflectance, shielding, electromagnetic compatibility.

**Zhirov V., Zaitsev S., Molotkov Yu., Ovcharenko A.** The Achievable Relation Signal/Noise when Filtering Feeble Energetic Narrowband Signal in Case of Analog Digital Conversion in Broad Band of Frequencies. – PP. 179–184.

*Results of researches of the achievable relation signal/noise for a narrowband signal with considering filtering in case of analog digital conversion of a broadband composite signal are provided. Lowering of the relation signal/noise in case of broadband digitization defines possibilities of reception of feeble signals in a compound. It is connected to action of quantization noises that is especially critical in case of the small number of levels of quantization and not ideality of characteristics of ADC. The purpose of researches – to evaluate the achievable relation signal/noise when filtering feeble signals after digitization for the purpose of their further demodulation. In the course of the theoretical analysis and simulation it is shown that the pacing factor restricting the relation signal/noise is drift of zero ADC. It is shown that restoration is possible only if value of drift of zero on the module is less, than MSD of an additive noise in a compound of a composite signal.*

**Key words:** analog digital conversion, composite broadband signal, filtering signals.

**Ivanov A., Kapralov D., Kirik D., Kovaleva T.** Modeling and Analysis of the Radiophysical Properties of a Functional Structure Composite Materials for Microwave Technology. – PP. 184–188.

*The paper presents the results of simulation and experimental studies of the structure of composites, providing, depending on the set requirements, the set level of the transmission or absorption of electromagnetic waves in a certain frequency range.*

**Key words:** polymer matrix, disperse filler, fiberglass.

**Ivanov S., Karpov I.** Development a Perspective Variant of Remotely Management Framework HF Antenna of Near Vertical Incidence Skywave Propagation for Mobile Objects. – PP. 188–191.

*Current development trends of the Armed Forces Russian Federation determine development a new antenna systems and management options. On the Genuino Mega 2560 R3 platform basis built perspective variant a remote control Framework HF antenna near vertical incidence skywave propagation.*

**Key words:** HF antenna, Arduino, Genuino, remote control.

**Kazakevich E., Koryakin D., Shirokov I., Shovdra V.** Effect of Higher Harmonic Current to the Electrical Load in the Power System. – PP. 191–197.

*The article States the reasons for the emergence of higher harmonics and explained the basic forms of their impact on the electricity system. Discusses the effect of the distorted sinusoidal voltage, which arose under the influence of higher harmonic current for equipment of electricity consumers.*

**Key words:** higher harmonic current, sinusoidal voltage, electricity consumers.

**Kireev A.** Positioning of Radio Emission Sources in Mobile Networks in None Line-of-Sight. – PP. 197–200.

*Situations in which it is necessary to determine the location of a person quickly and accurately, are constantly encountered. The most common solution to this problem is global positioning system Global Positioning service (GPS) or GLONASS. However, the main drawback*

*of this technology is that the accuracy of positioning is reduced in bad weather conditions. Therefore, it is advisable to consider the possibilities of using the method of TOA (Time of arrival).*

**Key words:** positioning, TOA, least square method.

**Kirik D, Malyshev A.** Topology Optimization Algorithm of Medical Parameters Monitoring Network. – PP. 200–203.

*In this article developed topology optimization algorithm of medical parameters monitoring network. Main sensor parameter is determined as power. The sensor range is defined on the base of radar equation in vacant space. This parameter is going to be optimized using clustering algorithm, thus it can be changed not only the distance but a sensors location in a space as well.*

**Key words:** telemedicine, network, sensor, optimization, clustering algorithm.

**Kirik D, Malyshev A.** Network Model of Medical Parameters Monitoring. – PP. 203–207.

*The monitoring network model is created on the base of mathematical concept in form of a graph, as well as such network parameters like a connectivity and reliability*

**Key words:** telemetry, random graph, connectivity, reliability, adjacency matrix.

**Kozlov S., Spirina E.** System Optimization of IP Communication Networks with Intra-system Interference. – PP. 207–213.

*In the article the interconnection of signal reception, frequency-territorial planning and routing procedures is justified so is the need for development of the system IP networks optimization using combined network settings vector, which includes collaborative signal reception, frequency-territorial planning and routing procedures optimization and provides complex intra-system interference influence decrease. The system optimization method algorithm for IP communication network is given and efficiency estimation of the developed method is shown.*

**Key words:** IP network, intra-system interference, collaborative optimization, combined vector network settings vector, routing, signal reception, frequency-territorial planning

**Kolesov A., Paritskaya D.** Audiovisual Immersion Systems Construction Features. – PP. 214.–218.

*The report analyzed the types of immersive systems and medium term immersing medium itself, as well as demonstrated features in the process of human interaction with the technical system. A high degree of user immersion is achieved in various ways, including virtual reality systems. This technology is the construction basis of an audiovisual immersive medium in REC "MediaCenter" at SPbGUT.*

**Key words:** immersion systems, virtual reality, augmented reality, mixed reality, technology, communication.

**Konovalov L.** The Main Features of the Complex Spatial-Phase-Shift Keyed Signal. – PP 218 –223.

*We give particular representations of complex spatial-phase-shift-keying signal and its basic properties as compared with the classic type of broadband time signal FM SRP.*

*The conclusion about the possibility of generalization of the considered signal processing method of this class to the active spatio-temporal filtering.*

**Key words:** spatial-phase-shift-keying signal, the complex spatio-temporal signal, antenna element, antenna array, FM SRP.

**Lazarev V., Ryzhkov A.** NB-IoT LTE ZC Sequences Analysis. – PP. 223–228.

*ZC sequences are widely used in the generation of LTE standard special signals. In the specifications of the narrowband (NB) version (200 kHz radio band) of the E-UTRA (LTE) standard for the wireless Internet of things networks, introduced in 2016, ZC sequences are also used for synchronization signals, random access preambles and demodulation reference signals generation. New signal structures of NPSS, NSSS and NPRACH preamble are considered, examples of their implementation are given. A comparative analysis of the signals in the conventional (broadband) and NB versions of the standard is made. The correlation properties of NB-IoT LTE signal are investigated.*

**Key words:** NPSS, NSSS, NPRACH, NB-IoT, LTE, ZC sequence, synchronization, correlation.

**Lebeda E., Ostroumov M., Ostroumov O.** The Noise Immunity Evaluation of the Multiposition Signals Reception in the Channel with Different Fading and Diversity Reception. – PP. 228–232.

*The article is dedicated to the different methods using of the multiposition signals diversity reception in the radio communication channels with fading. The received expressions are presented which allow to calculate the error probability in the radio communication channels at the signals reception of the quadrature amplitude modulation of the different positioning and different diversity reception methods.*

fading, diversity reception, error probability, multiposition signals.

**Likontsev A., Shakhobiddinov A.** Influence of the Megapolis on Weakening of Field Strength of Mobile Communication. – PP. 233–237.

*In the report the expressions to calculate the attenuation of the field strength in the megapolis are given. The expressions are intended for various reception conditions and received in Tashkent city in the ranges of 900 and 1800 MHz.*

*Established, that the reflection of electromagnetic waves from the brick walls made from local materials, is much smaller and the penetration of waves through the walls is much greater than in the brick walls of the foreign materials.*

**Key words:** Weakening, field strength, megapolis, base stations of mobile communication, ranges 900 and 1800 MHz.

**Lomakova A., Rusin S., Savenkova J., Shevchenko V.** Solution of Miniaturization Problems of Shipboard LW-MW Antenna. – PP. 237–242.

*Among the problems of creation of small aircraft carriers the problem of placing the antenna LW-MW band until it finds its rational solutions. The source of the problem – the wasteful expenditure of the frequency resource radio navigation system. To send a navigation signal using the band 133 times the bandwidth necessary for its undistorted transmission, which leads to two mutually exclusive requirements for small antennas: broadband agreement with the transmitter and the provision of sufficient signal / noise ratio at the point of reception.*

*By limiting the bandwidth equal to the bandwidth undistorted signal transmission, it is possible to solve the problem of miniaturization of ship LW-MW antenna. In this article proposes the design and the results of the calculation of characteristics and efficiency of a small-sized antenna for an electric type NDB.*

**Key words:** dimensions, Q factor, efficiency, bandwidth.

**Makarov L., Protasenya S.** Biometrics of the Surface Tissues of the Body. – PP. 242–245.

*The questions of research and cosmetic procedures superficial tissues of the human body using medical ultra-sound apparatus, implementing therapeutic and diagnostic procedures to ensure comprehensive monitoring.*

**Key words:** bustline, accelerometer, computer analysis.

**Podolsky D., Rogozinsky G.** Auditory Interface Based on Web Parsing Sonification. – PP. 245–250.

*The article describes the sonification complex of networks and systems. Sonification extends the possibilities of analyzing information by means of an auditory analyzer. The auditory interface extends the analysis of complex information by using of a human ear that makes faster detection of the features in the data stream. Received information was sonificated as an appropriate timbral classes by sound and music computing system Csound.*

**Key words:** CSound, data sonification, auditory interface.

**Pokrovskaya V.** Simulation of the Algorithm for Processing the Radar Signal Reflected From the Object on the Water Surface in the Matlab Software Package. – PP. 250–253.

*The paper is described the algorithm of the processing reflected the radar signal from the object on the water surface, to solve the problem of improving the quality of automatic tracking. In the simulation results confirming the feasibility of the practical application of the proposed algorithm.*

**Key words:** radar signal, signal processing, Matlab, algorithm modeling.

**Starikov V.** Method of Estimating the Average Throughput of LTE Network Based on Calculation of Interference. – PP. 253–258.

*This article contains synthesis of initial approximation LTE network. It is a one part of the most important procedure for RF Planning of initial approximation of LTE network. It's very important for characterize throughput and subscriber capacity of LTE network.*

**Key words:** LTE RF Planning, cluster 4G, LTE Radio Link Budget.

**Sungatullin E., Ustimenko V.** Anti-UAV Radioelectronic Countermeasures. – PP. 259–263.

*Nowadays advanced unmanned aerial vehicles (UAVs, or drones) include complex electronic equipment designed to solve different tasks that determine high efficiency of aircraft application. At the same time, the presence of that complex electronics causes high vulnerability of UAVs from the external impact of organized radio jamming. Moreover, it is possible to jam every electronic device (or system) of the drone. The article describes anti-drone radioelectronic countermeasure methods and a type of its classification is given. Also, options for the implementation of the drone counteraction are considered, and an example of jammer*

*and the principles of its operation are given. Optimally generated jammer signals show their good efficiency in commercial drone neutralizing.*

**Key words:** UAV, jammer, WiFi, GNSS, GPS, GLONASS, signal spectrum, commercial drone.

**Tatarenkov D.** Modeling of the ROS-Based Robotic Mobile Device with the Human Detection Function. – PP. 263–267.

*The article represents modern platforms for creating robotic mobile devices. Parameters for choosing the optimal environment for designing a social robot capable of interpreting visual information, adequately responding to changes in the environment and human actions are being provided. Some aspects of the robotic platform based on ROS with the function of detecting people modeling are being described.*

**Key words:** robot, computer vision, ROS.

**Fedorov S.** Main Quality Parameters of Signal Controlled in Digital Television Systems. – PP. 267–271.

*In the operation of digital television broadcasting systems, it is necessary to control a number of parameters, the analysis of the values of which makes it possible to detect possible problems at an early stage and to avoid loss of a digital television signal on the receiving side. It is necessary to pay attention to the so-called baseband parameters (transport stream level) and parameters related to the high-frequency part of the TV system.*

**Key words:** DVB, Digital TV, measurements, digital TV signal quality parameters, MER, BER, Eb/No, margin, signal constellation.

**Fokin G.** Software Defined Radio Current Trends. – PP. 271–276.

*Current trends of software defined radio (SDR) penetration in science, industry and education is the result of emergence of versatile SDR firmware at a reasonable price. The aim of this work is the standardization issues, communication equipment implementation survey and SDR educational applications systematization.*

**Key words:** Software Defined Radio, SDR, SCA, FPGA, DSP, GPP, ASIC

## SPECIAL-PURPOSE COMMUNICATION NETWORKS

**Avanesov M., Karabanova T., Petrov A.** Minimization of Overhead in Probe Control Flow Data Communications Networks Special Purpose. – PP. 277–282.

*Network special purpose bonds have higher requirements for stability, which makes use of specific data flow control methods, such as enteral administration. The report examines the most important variant of the decision problem that arises when using probe methods, – network congestion overhead occurring due to excessive proliferation of the length of the probe sending.*

**Key words:** communications network, routing information, unaddressed sensing, overhead.

**Aleksandrova A., Sagdeev A., Sevostyanova N.** Providing Sustainability to Failure on the Basis of Application of Corrective Capabilities. – PP. 282–285.

*The use of a polynomial system of residue classes makes it possible to increase not only the processing speed of signals, but also to ensure high information reliability of calculations. However, having good implementation properties, the modular CPCD codes have not been widely used, and their corrective abilities have been partially investigated. Therefore, the development of mathematical models of fault-tolerant computing facilities functioning in a polynomial system of residue classes is an urgent task.*

**Key words:** polynomial system, signal processing speed, fault tolerance.

**Ananov A.** Morphological Synthesis of the Airmobile Communication Network on the Basis of Unmanned Aerial Vehicles on the Basis of the Theory of Risks. – PP. 286–290.

*The method of synthesis of structure of an airmobile communication network (ACN) on the basis of unmanned aerial vehicles (UAV), leaning against principles of system and morphological approaches, the theory of risks is offered. On the basis of the analysis of target tasks ACN on the basis of UAV and the list of threats of its steady functioning, the generalized functional composition ACN which is subject to optimization is offered.*

**Key words:** airmobile communication network, the unmanned aerial vehicle, the system approach, the morphological approach, the theory of risks.

**Antropov D., Volovikov V., Drobjaskin A.** Approach to the Place and Role Nomenclature of Spare Parts in Complete Sets for Communication Equipment and Special Purpose Automated Control Systems. – PP. 291–296.

*High-quality and timely execution of recovery activities of the working state of the art communications and automated special-purpose control systems due to the presence of certain reserves, which represent a certain set of spare parts, tools and accessories. The composition of these kits should provide the vehicle repair process and automation in the given conditions of their intended use. Always available limitations on stocks stipulate the use of indicators to determine the qualitative and quantitative assessment of the impact that a particular spare part on the technical readiness of the vehicle and automation in general.*

**Key words:** spare parts, tools and accessories, the index value.

**Arsentieva A., Arsentieva E., Shinkarev S.** Reconstruction of a Communication Network for Military use in Case of Failure of its Elements. – PP. 296–300.

*Currently, one of the most important tasks of establishing and developing of military telecommunications networks is related with justification and choice of structure, which provides effective implementation and functioning of those networks. The analysis of predicted conditions of functioning of the communications network of the Armed Forces of the Russian Federation showed that due to possible enemy impacts and disturbing environment factors there is a possibility of structural damage of the network and failure of its elements. This factor determines the necessity of preliminary development of variants of recovery of the network and its elements as a solution of situational type. The classical model of situational management adapted to the tasks of recovering the structure of networks and to the characteristics of their solutions for the various destabilizing factors, given time constraints and restrictions on providing forces and means. Approach to solving problems of recovery is an algorithm of situational management where the classification of different variants of failure of compo-*

*nents that allows minimizing time of analysis and assessment of the state of the network and formation of solutions is presented quite clearly and informatively.*

**Key words:** a communications network for military purposes, the restoration of a communication network for military use, system restore.

**Basylin D., Krivtsov S., Orlova L., Chebotarev V.** Prospects of Development of the Network Service Communication at the Field Site when using Modern Information and Telecommunication Means. – PP. 301–305.

*The paper discusses the prospects for the development of a network service communication at the field site when using modern information and telecommunication means. The article describes the possibility of a fundamentally different management of field node communicate using communication services such as video calling in the direction of and in conference mode, text messaging, and file transfer.*

**Key words:** control system, field communication node, the network service connection, a system of operative-dispatch communication, short text message, video conferencing.

**Bezborodova A., Muzykantov A., Staheev K., Shterenberg I.,** Determination of the Average Aerosol Extinction in Design of Atmospheric-Optic Communication Lines. – PP. 305–308.

*In article one of elements of components of the atmospheric and optical line of communication – a laser beam which characteristics at distribution in atmosferesilno depend on aerosols, hydrometeors and other air pollutions is considered. For the solution of this problem calculations of average size of aerosol easing are given.*

**Key words:** atmospherically optical communication line, aerosol easing, meteorological visibility range.

**Belyaev S., Padishin S., Panihidnikov S.** Analysis of the monitoring system of the ACCS for military use. – PP. 309–314.

*The article presents an analysis of the automated communication management system. Factors affecting the development of the communication management system are considered. The levels of communication management are described. The functioning of the monitoring system is analyzed. The task is to develop a methodology for assessing the monitoring system.*

**Key words:** communication, monitoring, communication control, communication control levels.

**Bespaly E., Vanyugin D., Kalmykov D., Repieff I.** Rationale for the Selection of the System of Indicators for Assessing the Effectiveness of the Public Radiocommunication Network. – PP. 314–318.

*The article is devoted to the substantiation of the choice of the system of indicators for assessing the effectiveness of the public radio network. The main functional purpose of the public radio communication network and the most characteristic features peculiar to the systems of special communication, allowing to classify them as a class of complex systems, are disclosed. It shows what is based on the methodological evaluation of the effectiveness of the public radio network.*



**Key words:** public radio network, rational version of the structure of the public radiocommunication network, indicators of the effectiveness of the network, the effectiveness of the public radiocommunication network.

**Bespaly E., Kalmykov D., Moseev V., Repieff I.** Basic Ways of Application of Communication Relations in the Arctic Region. – PP. 318–322.

*The article is devoted to the main ways of using the genera of communication. In the Arctic region. The most promising types of connection are disclosed. From the point of view of providing communication services, for the northern territories of Russia. The priority is given to the creation and use of a satellite communication and broadcasting system in the Arctic region using spacecraft in high elliptical orbits. The most effective ways of realization of various kinds of communication in the given region in view of social and economic and cultural development of our country, at obligatory observance of ecological norms and requirements are shown. The problems of organization of radio communication in the Arctic region are explained.*

**Key words:** information and telecommunication infrastructure, satellite communication, radio communication, flight-lifting means, adaptive high-frequency radio systems.

**Bogdanova Y., Gorai I., Zhuravlev D., Samarkin D.** Mnogokriterial Assessment of Placement of Lines in Field Transport Communications Network. – PP. 322–327.

*Part of the lines of the fixed communication network can be destroyed in a special period. In these conditions, the task of providing communication in the specified directions will be assigned to the field transport communication network. In a communication network, different numbers of independent routes need to have different numbers to deliver messages of different importance classes between the corresponding communication nodes. The article presents the order of placement of additional lines in the field of transport network. As evaluation criteria of placing lines selected her long and ustavnyj number of trees in the network after its introduction.*

**Key words:** route, transport network, graph, ostovnye trees.

**Boyko A., Zhuravlev D., Samarkin D., Sedunova I.** The Technique of Placing a Line of Reserve in the Field of Transport Networks. – PP. 327–332.

*The article presents methods of placing lines in the redundancy field of a transport network in which nodes at any point in time can be mutually offset. As a criterion for evaluating the placement of the line number selected ustavnyj trees in the network after its introduction.*

**Key words:** technique, transport network, graph, ostalnye trees.

**Burlakov A., Drobjaskin A., Muzicantov A.** The Loss of the Signal During the Propagation in the Interval of Radio Relay Lines. – PP. 332–336.

*The required quality of the connection on the relay interval and the line in General can be provided in accordance with the parameters of radio relay systems (RRK) for data standards, proper assignment of RDS and informed choice of inter-shafts radio relay lines (RRL). For communication at intervals with the required RRL as necessary to take into account the total losses of a radio signal in the interval of communication.*

**Key words:** radio, interval, terrain, attenuation, losses.

**Velichko V., Sagdeev A., Sevostyanova N.** Bases of the Construction of a Multistage Polynomial System of the Classes of Deductions in the Expanded Galua Fields. – PP. 337–339.

*The main methods of expanding the dynamic range in algebraic systems of CPCR are considered. Mathematical models that realize the operation for the Galois fields are developed. The issues of transferring one PSKV system to another are considered. It is shown that the polynomial system of residue classes has the ability to implement translation procedures for one integration.*

**Key words:** the Galois field, polynomial system classes deductions, integration.

**Gel V., Karnaukh A., Cherenkov V.** The Issue Determination of Stability of Special Communication Systems. – PP. 340–344.

*Special communications networks must be adaptable to the conditions of the operational environment. In this case, the purpose of the operation of communication networks is to ensure good governance in all conditions. As it is known, it is characterized by the adaptation of the indicators such as sustainability, includes the concept of survivability, noise immunity, technical reliability and communications systems. The article discusses the features of the settlement rate stability control system based on the number of existing serviceable connection directions.*

**Key words:** data, data protection, potential threats to sweat.

**Girsch V., Marchenkov A., Muzicantov A.** Analytical Model of Monitoring Technical Condition Specialized Communications With the Extended Operating Life of the UC Objects. – PP. 344–348.

*The problem of monitoring the technical condition of the communication set consists in the collection of the statistical information about equipment failure, routine repairs, spending ZIP and electrical needs for repair of ZIP-O. Methods of monitoring the technical condition of communication set.*

**Key words:** general organizational issues in the communication area (organization and operation).

**Gorbacheva M., Kazhan V., Lubyannikov A., Frolova Y.** Tensor Methodology as a Method of Analysis of the Loaded Information System. – PP. 349–353.

*This article discusses the relevance of the use of tensor analysis in information networks, tensor methodology for the analysis of loaded networks in the steady state, the formulas and equations of state information network, respectively the tensor methodology.*

**Key words:** tensor analysis, tensor methodology, information communication networks.

**Gordiychuk R., Gritsenko Y., Dunaeva A.** The Implementation Scheme of the Universal Driver on a Programmable Logic Integrated Circuit. – PP. 353–355.

*The working principle of the universal generator of signals on an elementary basis. Structural scheme that allows the output to split and modified in-phase and quadrature component of the radio signal.*

**Key words:** harmonic, distortion ,digital, modulation.

**Gordiychuk R., Gritsenko Y., Dunaeva A.** Spectral-Efficient Digital Modulation Methods. – PP. 356–360.

*To deal with the side radiation and nonlinear distortion in output stages of transmitting tract, it is proposed to use spectral-efficient digital modulation techniques with a special form of signal such as QPSK, T-OQPSK, FQPSK, GMSK.*

**Key words:** digital modulation, spectral-effective methods, quadrature phase-shift keying.

**Gordiychuk R., Gritsenko Y., Dunaeva A.** Universal Shaper Spectral-Effective Signals. – PP. 360–363.

*Association schemes of formation of spectral-efficient signals to implement schema-based generation of T-OQPSK. The creation of the driver on the FPGA allows to obtain the required modulation type for generating the necessary signal on the basis of T-OQPSK.*

**Key words:** T-OQPSK signal, universal driver, driver on the FPGA.

**Grekov K., Kun N.** Ultrafiltration Reagent Method to Recover Metals in Processing Electronic Waste. – PP. 363–367.

*The features and advantages of the method of reagent or micellar- enhanced ultrafiltration. Invited to use this method to recover the precious and rare-earth metals from dilute solutions resulting from the processing of electronic waste. Experimental data are presented on the application of ultrafiltration reagent method options that are based on a conversion of the metal ions to non-dissolved form with stop sediment formation stage colloidal phase, as well as their conversion into larger complex ions as compared to the original.*

**Key words:** electronic waste, regeneration of metals, membrane technology, reagent ultrafiltration.

**Grigoryan V., Kulikov M., Kulikov V.** Problems of Planning of the Operational Technical Services for Facilities Automation Communication Networks Special Purpose. – PP. 367–372.

*Finding ways to reduce the duration of the planning cycle and management remains one of the most important areas to optimize the management. The shortage of time for decision-making by the decision maker, should be as low as possible. The solution arrived at must be reasonable, based on the calculations contain information which can be presented in text and graphic form.*

**Key words:** optimization, planning, communication networks of special purpose.

**Gridnev V., Kupchinenko O., Yushnikov S.** Analysis Methods of Diagnostic Elements of Power Stationary Communication Node. – PP. 372–376.

*The article analyzes the methods and means of diagnosing of elements of power systems stationary communication node, are considered integral and differential types of diagnosis and basic methods of search of malfunctions in technical systems.*

**Key words:** integral diagnosis, differential diagnosis, Troubleshooting.

**Grishanov V.** Some Approaches to the Formation of the Topological Structure of Telecommunication Networks. – PP. 377–381.

*The classic solution to the problem of structure synthesis of communication networks consists of three phases: topology formation, the calculation of stream structure and synthesis of the physical structure. At the stage of formation of the topological structure of communication networks are used: cluster analysis methods and evaluation of structural reliability of the network, algorithms of triangulation, the formation of a minimum spanning tree, cycle Hamilton and others. Of particular interest to the task of their practical implementation with the aim of forming a pool of methods from which it is possible to opt for the most adequate in practical synthesis of the structure of the telecommunication network.*

**Key words:** topological structure, optimization methods, the practical implementation, cluster analysis, structural reliability, triangulation, minimum spanning tree.

**Gubskaya O., Samarkin D., Tolmacheva A., Yahunkina A.** Single-Mode Optical Fibres of Communication for Stationary Wdm-System "Dunai". Application in Russian Armed Forces. – PP. 382–386.

*In this article it is told about application of WDM-of the Dunai system in Russian Armed Forces. This system of early detection for objects of critical infrastructure. The acoustic sensor allows to register signals from the sources located in tens and even hundreds of meters from a cable, the operator of system receives alarm signals before the violator crosses a protection boundary. Dunai, in our opinion, is perspective development which can be applied in Border troops, in particular, on frontier posts to detecting of the area. Especially, this system would be useful in areas where poor visibility (in mountains).*

**Key words:** optical fiber, Dunai WDM system, single-mode optical fibers, spectral consolidation of channels.

**Dvorovoi M., Meshkov I., Salnikov D., Yakushenko S.** Assessment of Availability of Means of Satellite Navigation in the Conditions of Limited Visibility of Navigation Spacecrafts. – PP. 386–391.

*In work the method of assessment of availability of the means of satellite navigation placed on land mobile objects of a special purpose in the conditions of limited visibility of navigation spacecrafts is offered. The problem is solved on the basis of model of movement of navigation spacecrafts with use of topological parameters of a land relief, local objects and a vegetable cover.*

*The method and results of assessment of availability of means of satellite navigation, can be used when forecasting and laying traffic routes for land mobile objects of a special purpose in the conditions of limited visibility of navigation spacecrafts.*

**Keywords:** availability of satellite radio navigational system, satellite radio navigational system, navigation equipment of the consumer, location accuracy, topological parameters.

**Drobjaskin A., Marchenkov A., Muzicantov A.** The Strategy Management of Stocks Special Means of Communication. – PP. 391–395.

*The most important factor in achieving high combat readiness of units and stability of functioning of communication system is timely and full provision of special means of communication. To timely meet the staffing needs of the troops is organized and implemented by the logistics (staffing) special forces communications. Classification of stock management strategies.*

**Key words:** general organizational issues in the field of communication (organization and maintenance), supply system, inventory management theory, strategy, inventory management.

**Drobjaskin A., Marchenkov A., Muzicantov A.** Operation as a Stage in the Life Cycle Special Means of Communication. – PP. 395–400.

*Operation of equipment, special means of communication – the stage of the life cycle of communication technology since the adoption of the part from the manufacturer or repair facility to disposal or sent to a factory repair, which is a set of commissioning and bringing in the established degree of readiness to use, maintain the established level of readiness for this use, use, storage and transportation.*

**Key words:** general organizational issues in the field of communication (organization and operation).

**Drobjaskin A., Musicantov A.** The Threshold Nature of Noise Immunity Radio Communication Systems with Time Division Channel Pulse and Pulse Position Modulation. – PP. 401–403.

*All radio-relay systems for special communication with time division channels, currently that use nonlinear modulation methods, the inherent threshold effects. This article describes the threshold nature resistance radio relay lines time division channel pulse and pulse position modulation.*

**Keywords:** threshold effect, the signal threshold power, the pulse.

**Dunaev K., Zhuravlev D., Samarkin D., Sokolov A.** Analysis of possibility of application of atmospheric optical lines for redundancy field of fiber-optic line paths. – PP. 403–406.

*The article presents the calculation of the energy potential of atmospheric optical communication lines in a variety of weather conditions to analyze its applicability for backup of fiber optic lines for communication networks.*

**Key words:** atmospheric optical transmission system, fiber-optic linear tract, energy potential, atmospheric precipitation.

**Zhadan O., Malyshko A., Marchenko D.** Analysis of the Application of Optical Switches in Communication Networks of Special Purpose. – PP. 407–411.

*Currently, a promising direction of development of transport networks is the use of domestic means of fiber-optic communications, which will significantly improve the efficiency of communication systems in various applications, such basic devices are optical switching of photonic switches.*

**Key words:** optical transport network photonic switch, the basic parameters of photonic switches.

**Zhadan O., Marchenko D.** Analysis of the Application of Quantum Routers in Optical Transport Communication Networks Special Purpose. – PP. 411–415.

*Currently, the world has witnessed the expansion of the number of scientific programs dedicated to the development of quantum information technologies. The main goal of such pro-*

*grams is the achievement of excellence in the field of quantum communication and quantum computing are closely related to the field of quantum cryptography.*

**Key words:** optical transport network, quantum router.

**Zamanov A., Krivtsov S., Pozniak V., Safronov V.** Building a Network Infotelecommunication in Hostel Department Radio Military Academy of Communication for Access to Resources of Personal Electronic Libraries. – PP. 415–420.

*In this paper we consider the order of construction infotelecommunication network radio in the dormitory of the Faculty of Military Academy of Telecommunications in the simulator Cisco tacket tracer LAN. This article describes how to build a simulation model, the composition of the main equipment infotelecommunication network, a table of internal LAN routing, and external communications links for personnel access to the site of the Faculty of Communication and e-military Academy Library.*

**Key words:** infotelecommunication network simulator network, the routing table, the local network, router, Layer 2 switch, wireless access, electronic library, the server.

**Ivanov D., Kozinak M., Louta O., Nechepurenko A.** Distribution Model Factors Information Impact on the Elements of the Information-Telecommunication Network. – PP. 420–425.

*In modern conditions the basis of information warfare is the system of informational influence. In the model considered, a modern approach to the prediction of the distribution of means of influence on the information-telecommunication network (ITKS) with regard to place elements in the network, prioritization of exposure to the elements ITKS, which in turn will generate baseline data for the adoption of measures of protection elements and the network as a whole.*

**Key words:** information and telecommunication network, information influence, information warfare.

**Ivanov V., Panihidnikov S, Pankov R., Udaltsov A.** Application Software Riverbed Modeler in Transport Networks for Special Purposes. – PP. 425–430.

*The paper analyzes the special-oriented modeling of software systems of computer networks that can be used to simulate the transport network connection, special purpose.*

**Key words:** simulation model, transport networks for special purposes.

**Ivanov V., Panihidnikov S., Sakova N.** The OSH Menegement System in Small Enterprises. – PP. 430–435.

*The issues of construction and functioning of the OSH management system at small enterprises are considered subject to modern legislative and regulatory requirements. The material analyzes the specific activities of small enterprises in the field of labor protection. Practical recommendations on the creation and functioning of the most essential elements of the system as well as recommendations on the evaluation of working conditions are given.*

**Key words:** the OSH management system, small enterprise.

**Ivanov V., Sturman V.** Research of Electric Fields from Air-Lines of Electricity Transmissions and Other Sources in St.-Petersburg. – PP. 435–438.

*Research of intensity of electric fields of industrial frequency in St.-Petersburg and vicinities is executed. It is revealed that sanitary-protective and security zones of high-voltage lines not always provide decrease in intensity to regulated values. Intensity of electric fields on removal from high-voltage lines increases from green zones and city suburbs to its historical centre. A number of local sites of excess of maximum-permissible level is revealed.*

**Key words:** electric fields, intensity, St.-Petersburg.

**Ivanova E., Panikhidnikov S.** Influence of Electromagnetic Waves on the Person. – PP. 438–442.

*Rapid development of the equipment more and more fills our vital space with various electromagnetic fields. Influence of the electromagnetic field on a human body is studied long ago, but at the same time direct impact on an organism which level causes in was almost always considered it is mute the fixed changes in organs obvious instrumentally at once. With development of science it became clear that at influences of electromagnetic fields there have to be not only direct mechanical and thermal changes of fabrics, but also structural changes in a cage from weak and very weak electric signals as result of reaction of an organism to influences, but not bringing to organ but only to functional changes. But further researches and improvement of designs for the purpose of reduction and neutralization of their possible adverse effects on the person are necessary for preservation of health.*

**Key words:** electromagnetic waves, biological effect, human body, SHF, AHF, accute defeat, chronic influence.

**Kalmykov D., Krivtsov S., Tevs O.** The Calculation Timeliness of Message Delivery in the Special Purpose Communication System in the Terms of Enemy Impact. – PP. 443–449.

*The article presents the methodology of calculating package delivery timeliness package in the special purpose communication system. The method takes into account the resistance of the communication directions (routes of packages delivery), which are the influence of destabilizing factors, primarily fire and radioelectronic enemy impact.*

**Keywords:** the probability of timely packages delivery, the resistance, the resistance factor, the communication direction, the route of package delivery, the node, the switching node, the communication line.

**Kiselev K., Hmellyar N., Shinkarev S.** The construction of Special Purpose Communication Networks as Software-Defined Networks. – PP. 449–452.

*At present, the state of information and telecommunication networks shows that the possibilities of traditional technologies are practically exhausted. One of the options for the development of information and communication networks is the transition to the concept of software-defined networks. The software-configurable approach proposes to divide the control level and the level of data transfer by transferring control functions to a separate device (controller).*

**Key words:** software-defined networks, SDN, special purpose communication networks.

**Korobkov E., Ljanguzov D., Snezhko V., Jakushenko S.** Model of Assessment of Changes of Parameters of Stability of the Radio Relay Lines Caused by the Movement of Stations. – PP. 452–457.

*Article is devoted to a research of changes of parameters of stability of the radio relay and radio navigational lines caused by movement of stations of correspondents in difficult physiographic conditions. As a method of a research imitating modeling based on MatlabR2012a packet is used. Results of assessment of changes of parameters of stability on the basis of the recommendation of MSE-R R.681-8 (07/2015) are given in article. The received results can be used when forecasting suitability of intervals of radio lines in traffic conditions of stations of correspondents, and also for the choice of the frequency range and a method of the organization of a mobile radio communication.*

**Key words:** radio relay communication, radio navigational line, dying down, stability of radio relay communication lines, assessment of suitability of intervals of a radio communication.

**Korchagin M., Sagdeev A., Frolova Y.** Modeling the Process of Implementation attacks “Denial of Service” (SYN-Flood). – PP. 458–461.

*SYN-flood attacks are carried out against the server, the problem of these attacks is a denial of service. Imagine this attack using models Petri-Markov. Consider, 4 there are ways to counteract the attack: the use of firewall, the use of SYN-cookie mechanism, reducing latency responses, an increase in the request queue.*

**Key words:** SYN-flood, denial of service, model of Petri-Markov.

**Korchagin M., Sagdeev A., Frolova Y.** Modelling of Processes in the Implementation of the Introduction of a False Object Network. – PP. 461–465.

*The introduction of a false object network based on deficiencies remote search algorithm (ARP-spoofing). Existing probabilistic characteristics of implementation, taking into account countermeasures introduction of the false object network by imposing a false route. Existing probabilistic characteristics of the implementation considering countermeasures.*

**Key words:** ARP-spoofing, network Petri-Markov, MAC address.

**Korchagin M., Sagdeev A., Frolova Y.** Modelling of Processes of Network Analysis. – PP. 465–469.

*Sniffing packets on the network without switches. Data obtained with the help of sniffer can be used by a hacker to obtain legal access to the system services on the rights of the legitimate user. Consider the existing 3 countermeasures to combat this attack. Network Scanning. Prior to the implementation of active attacks attacker would need to know all the information about the structure of the network and services. Simulate using Petri nets, Markov network scanning.*

**Key words:** sniffing, network analysis, network Petri-Markov.

**Koryakin D., Ponamarev M., Shirokov I., Shovdra V.** Proposals for the Structure of Power Stationary Communication Military. – PP. 469–472.

*Constant combat readiness of the Russian Armed Forces is mainly determined by willingness to control and communications; so the lack of electricity, even short-term, may lead to irreparable consequences, which are often difficult to assess.*

**Key words:** guaranteed power supply, transformer substation, backup power, uninterrupted power supply, uninterruptible power supply, battery.



**Krivoshej O., Krivtsov S., Mikina N., Chebotarev V.** Building Lines Remote Control of Transmitters of the Radio Center of the Stationary Communication Node by Using Modern Means of Telecommunication on the Basis of BGP v.4. – PP. 472–477.

*The paper discusses the construction of the lines remote control of transmitters of the radio center of the stationary communication node by using modern means of telecommunication on the basis of BGP V. 4 . The article describes how the design of telecommunication network, basic equipment lines, remote control transmitters, a table of interaction of Autonomous systems of telecommunication links between the elements of radio center.*

**Key words:** Autonomous system, the stationary communication node, the radio telecommunications network, a local network line of remote control transmitters, router, dynamic routing.

**Krivtsov S., Miakotin A., Orlova L., Chebotarev V.** The Information Voice Flows Distribution by Konditsionnost of Routes on the Transport Communication Networks. – PP. 478–483.

*In this paper the problem of transmission with the required quality IP-data packets traffic real time is considered on the transport communication network within used the telecommunications technology. The need establishment communication is substantiated for correspondent nodes by konditsionnost of routes. The algorithm of information flows distribution by konditsionnost of routes is offered because as a solution with the account traffic load on the network. The algorithm implementation allows to install the guaranteed connections for correspondent pairs of nodes by konditsionnost of routes using the number of information messages relay in the intermediate switching centers for the required. The rapid switching possibility of konditsionnost of routes is saved for the flow graph.*

**Key words:** correspondent pair of nodes, traffic real time, IP-data packet, the delay time, konditsionnost of route, rank route, flow graph.

**Lukyanchik V., Melnik V., Moseev V.** Peculiarities of Construction of the Communication System of Special Purpose in the Arctic Zone of the Russian Federation. – PP. 483–488.

*In the article, taking into account the peculiarities of the Arctic zone of the Russian Federation, the possibilities of constructing a special-purpose communication system based on the complex application of various kinds of communication are considered. The main direction of development of the technical basis of the control system is the creation of spatially separated communication networks consisting of: terrestrial, air, space and sea components with connections between them, which make up a three-dimensional communication system in their architecture.*

**Key words:** Arctic zone, communication system, echeloned communication networks.

**Manvelova N., Manvelova T., Panikhidnikov S.** Prospects of Modern Pressure Sensors for the Dangerous Weather Events Forecast. – PP. 488–493.

*Tendencies of an increase in the number of hazardous weather phenomena and the increase in the effect of unfavorable environmental conditions on all spheres of the life of society and the advantages of the method of radiosounding of the atmosphere are shown. The principles of the action of piezoelectric sensors for atmospheric pressure sensors are considered, and an atmospheric pressure sensor with a sensing element on volumetric acoustic waves is selected for use in radiosonde. The finite-element modeling of a sensitive element on volu-*

*metric acoustic waves is performed, and the features of its application in measuring atmospheric pressure are considered.*

**Key words:** dangerous natural phenomena, pressure sensor, bulk acoustic waves sensor, atmosphere radio probing.

**Mosyagin D., Pantiuhin O., Sazonov V., Titov V.** Option Jamproof System of Information Transmission. – PP. 493–498.

*The noise immunity of the systems of information transmission (SIT) and stealth options signals from the media monitoring of radio networks and their suppression are the main components of jamproof systems. In the proposed SIT interference immunity is ensured by the orthogonality of the used signals, and secrecy is the required number of them. The rate of change of orthogonal bases and the adaptation of the SIT is determined by the terms of reference of the monitoring network and their suppression. To do this, the structure of SIT is additionally introduced in the analyzer channel and a control unit with elements of decisive feedback.*

**Key words:** the system of information transmission, monitoring of radio networks and their inhibition, the ensemble of discrete orthogonal multi-level signals in an infinite number of bases.

**Neizhmak A.** Some problems of increasing reliability in data networks and methods of their solution. – Military Academy of Telecommunications. – PP. 498–502.

*The effective use of computer technology in the automated control systems (ACS) is impossible without data exchange between their elements. Therefore, the creation and development of automated control systems has led to the emergence and rapid development of this form of telecommunications, as data transmission.*

*This article analyzes the main characteristics improve the reliability of systems in data networks. During the analysis the characteristics of two basic groups improve the reliability of systems are the main methods of increasing the reliability of data transmission in unidirectional systems were examined. The analysis identified the problem and improve the reliability of one of the proposed solutions to them.*

**Key words:** systems increase reliability, data exchange system, to increase reliability in data networks.

**Ovsyannikov S., Pantiuhin O., Khmelevskoy V.** The Organization of the Information Process in the Automation System Communication Control. – PP. 502–507.

*The automation system communication control (ASCC) represents organizational and technical consolidation of forces and means of automation, subscriber data, and basic data network. The information aspect is at the core of the automation process control and communication is called information process in the ASCC. The article considers the process of information and its organization in the ASCC of communications on organizational, operational-technical, and technological levels.*

**Key words:** managing communication, information process, control system communication.

**Odoevsky S., Khoborova V.** Evaluation of Self-Similar Traffic's Service Quantity in Switching Nodes of Special Appointment Multiservice Network. – PP. 507–512.

*The problems of evaluation of self-similar traffic's service quantity are discussed in the article. Also methods of their solutions through analytical and statistical account mechanisms of average waiting time in switching nodes of special appointment multiservice network are offered.*

**Key words:** multiservice network, traffic ripples, self-similar process, average waiting time, queuing system.

**Panihidnikov S., Sakova N.** Methodological Basis of Acceptable Risk Analysis for the Security of the Population and Territories From Emergency Situations. – PP. 513–517. *The choice of indicators covers issues of acceptable risk management decisions in conditions of foreseeable emergencies. Notes the relevance in determining criteria for acceptable risk zoning of territories, which are characterized by a certain degree of hazard to the living area.*

**Key words:** risk, acceptable risk, management decision, emergency situation.

**Sagdeev A., Sevostyanova N., Sidorenko E.** Algorithms for Calculating the Ops Factor and Their Network. – PP. 518–522.

*The procedures for searching and correcting errors using the coefficients of the generalized polyadic system are considered. On the basis of the analysis, a mathematical model was chosen that implements the algorithm of translation from the PCCS into the OPS. A two-layer neural network has been developed that performs this procedure for two technologies. The calculation of the necessary circuit costs for its implementation is made.*

**Key words:** error correction, generalized polyadic system, polynomial system classes deductions.

**Staheev I., Tolmacheva A., Yahunkina A.** Guidelines for the Calculation of the Characteristics of the Active Elements of the Fiber-Optic Communication Lines in the Design of the Optical Line Length of 150 km. – PP. 522–525.

*The modern world of technology development in the field of fiber optics. The transmission of information over long distances with high noise immunity, reliability and validity. The most important elements of a fiber-optic communication lines are active components, characteristics which have a direct impact on the transmission of the information flow.*

**Key words:** transmission of information, optical devices, active elements.

**Staheev I., Tolmacheva A., Yahunkina A.** Recommendations on the Calculation of the Characteristics of the Active Elements of the Fiber-Optic Communication Lines in the Design of the Optical Line Length of 150 km. – PP. 525–527.

*The modern world of technology in the field of fiber optics. The transmission of information over long distances with high noise immunity, reliability and accuracy. The most important elements of fiber-optical communication lines are the active components, the characteristics of which have a direct impact on the transmission of information flow.*

**Key words:** the transmission of information, optical fiber, optical devices, active elements.

## АВТОРЫ СТАТЕЙ

- АВАНЕСОВ** кандидат технических наук, научный секретарь  
Михаил Юрьевич ЗАО «Институт телекоммуникаций», [avanesov@itain.ru](mailto:avanesov@itain.ru)
- АЛЕКСАНДРОВ** директор Санкт-Петербургского предприятия  
Александр Михайлович «Специализированное конструкторское бюро  
«Энергия», [ntk10@mail.ru](mailto:ntk10@mail.ru)
- АЛЕКСАНДРОВ** инженер-исследователь научно-исследовательской  
Илья Владимирович лаборатории радиоконтроля и электромагнитной  
совместимости Санкт-Петербургского государственного  
университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-  
Бруевича, [alxilya@gmail.com](mailto:alxilya@gmail.com)
- АЛЕКСАНДРОВА** студентка Санкт-Петербургского государственного  
Анастасия Вадимовна университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-  
Бруевича, [brother-aks@yandex.ru](mailto:brother-aks@yandex.ru)
- АЛИМБАЕВ** магистрант кафедры радиосистем и обработки сигналов  
Айдар Серикович Санкт-Петербургского государственного университета  
телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича,  
[uss\\_w@mail.ru](mailto:uss_w@mail.ru)
- АЛЬ-АМЕРИ** аспирант кафедры радиосвязи и вещания Санкт-  
Хамед Абдо Петербургского государственного университета  
телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича,  
[hamedru2008@gmail.com](mailto:hamedru2008@gmail.com)
- АЛЬ-ОДХАРИ** аспирант кафедры радиосвязи и вещания Санкт-  
Абдулвахаб Хуссейн Петербургского государственного университета  
телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича,  
[abdwr2011@yandex.ru](mailto:abdwr2011@yandex.ru)
- АЛЬ-ОСАИМИ** аспирант кафедры радиосвязи и вещания Санкт-  
Халид Абдулла Мухаммед Петербургского государственного университета  
телекоммуникаций им. проф. М.А.Бонч-Бруевича,  
[alosaimi@mail.ru](mailto:alosaimi@mail.ru)
- АНАНЬЕВ** кандидат технических наук, докторант кафедры  
Александр Владиславович радиоэлектроники Военного учебно-научного центра  
Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия  
им. профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина»,  
[sasha303\\_75@mail.ru](mailto:sasha303_75@mail.ru)

- АНДРЕЕВ Роман Александрович ведущий специалист научно-образовательного центра «Беспроводные инфотелекоммуникационные сети» Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им проф. М. А. Бонч-Бруевича, [andreeffrom@mail.ru](mailto:andreeffrom@mail.ru)
- АНДРОПОВ Алексей Викторович студент кафедры конструирования и производства радиоэлектронных средств Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, [mixphixion@mail.ru](mailto:mixphixion@mail.ru)
- АНИКИН Владимир Андреевич старший оператор научной роты Военной академии связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного, [vladimir.anikin.2013@gmail.com](mailto:vladimir.anikin.2013@gmail.com)
- АНТИПИН Борис Маврович кандидат технических наук, доцент кафедры телевидения и метрологии Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, [boris\\_antipin@mail.ru](mailto:boris_antipin@mail.ru)
- АНТРОПОВ Дмитрий Валерьевич слушатель 4 факультета (командного) Военной академии связи имени маршала Советского Союза С. М. Буденного, [dim-antropov@yandex.ru](mailto:dim-antropov@yandex.ru)
- АРСЕНТЬЕВА Анастасия Валерьевна курсант Военной академии связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного, [arsentyevanastya@icloud.com](mailto:arsentyevanastya@icloud.com)
- АРСЕНТЬЕВА Екатерина Валерьевна курсант Военной академии связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного, [katrin\\_very\\_nice@mail.ru](mailto:katrin_very_nice@mail.ru)
- БАБАЕВ Никита Вадимович инженер отдела эксплуатации ООО «Гиперион», [n.babaev2016@yandex.ru](mailto:n.babaev2016@yandex.ru)
- БАБИН Николай Николаевич кандидат технических наук, руководитель группы подготовки (переподготовки) кадров в области специальной связи Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, [babin-nvk@yandex.ru](mailto:babin-nvk@yandex.ru)
- БАГИРОВ Роман Владиславович старший оператор научной роты Военной академии связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного, [bagirov-roman00@mail.ru](mailto:bagirov-roman00@mail.ru)
- БАСУЛИН Денис Валерьевич курсант 2 факультета Военной академии связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного, [ltybcrf58@gmail.com](mailto:ltybcrf58@gmail.com)

- 
- БАХТУРИН** аспирант кафедры радиосистем и обработки сигналов  
Алексей Алексеевич Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, [kubikrubik54@list.ru](mailto:kubikrubik54@list.ru)
- БАШМАКОВ** аспирант кафедры конструирования и производства  
Павел Александрович радиоэлектронных средств Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, [bashmakovpa@gmail.com](mailto:bashmakovpa@gmail.com)
- БЕЗБОРОДОВА** студентка группы ИКТВ-34 Санкт-Петербургского  
Алена Сергеевна государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, [alena.bezborodova2013@yandex.ru](mailto:alena.bezborodova2013@yandex.ru)
- БЕЛОВА** кандидат психологических наук, доцент кафедры  
Елизавета Васильевна социально-политических наук Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, [limax3@yandex.ru](mailto:limax3@yandex.ru)
- БЕЛЯЕВ** преподаватель кафедры автоматизированных систем  
Сергей Валерьевич специального назначения Военной академии связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного, [goshaceh@mail.ru](mailto:goshaceh@mail.ru)
- БЕСПАЛЫЙ** СТУДЕНТ Санкт-Петербургского научно-  
Евгений Александрович исследовательского университета информационных технологий, механики и оптики, [jenya.swimmer@mail.ru](mailto:jenya.swimmer@mail.ru)
- БОБРОВА** инженер отдела перспективных разработок  
Екатерина Валерьевна ООО «Гиперион», [bobrova12504@gmail.com](mailto:bobrova12504@gmail.com)
- БОГАЧЕВ** магистрант кафедры радиосвязи и вещания Санкт-  
Александр Васильевич Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, [alex888bog@yandex.ru](mailto:alex888bog@yandex.ru)
- БОГДАНОВА** курсант Военной академии связи имени Маршала  
Юлия Николаевна Советского Союза С. М. Буденного, [ZhuravlevDmitriy84@yandex.ru](mailto:ZhuravlevDmitriy84@yandex.ru)
- БОЙКО** кандидат технических наук, старший преподаватель  
Алексей Павлович кафедры военных систем многоканальной электропроводной и оптической связи Военной академии связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного, [ZhuravlevDmitriy84@yandex.ru](mailto:ZhuravlevDmitriy84@yandex.ru)

- 
- БОРИСОВ инженер, сотрудник ООО «СТЦ»,  
Георгий Николаевич [georgiiborisov@gmail.com](mailto:georgiiborisov@gmail.com)
- БОРИСОВ кандидат технических наук, профессор кафедры  
Евгений Геннадьевич радиосистем и обработки сигналов Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, [begspb1967@mail.ru](mailto:begspb1967@mail.ru)
- БУРЛАКОВ кандидат военных наук, доцент кафедры технического  
Андрей Анатольевич обеспечения связи и автоматизации Военной академии связи имени маршала Советского Союза С. М. Буденного, [burlakov38@gmail.com](mailto:burlakov38@gmail.com)
- БУЧАТСКИЙ кандидат технических наук, доцент кафедры  
Александр Николаевич телевидения и метрологии Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникация им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, [alexanderbuchatsky@yandex.ru](mailto:alexanderbuchatsky@yandex.ru)
- ВАНЮГИН старший преподаватель военной кафедры Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, [dmitry\\_vanugin@mail.ru](mailto:dmitry_vanugin@mail.ru)
- ВАСИЛЬЕВ магистрант кафедры конструирования и производства  
Евгений Юрьевич радиоэлектронных средств Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, [zenit950323@yandex.ru](mailto:zenit950323@yandex.ru)
- ВЕЛИЧКО начальник цикла – старший преподаватель Учебного  
Виталий Михайлович военного центра Института военного образования Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, [velichko90@mail.ru](mailto:velichko90@mail.ru)
- ВИНОГРАДОВ кандидат технических наук, доцент, ведущий научный  
Евгений Михайлович сотрудник научно-исследовательской лаборатории радиоконтроля и электромагнитной совместимости Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, [vin@irga.sut.ru](mailto:vin@irga.sut.ru)
- ВОЛКОВ доктор технических наук, профессор кафедры  
Владимир Юрьевич радиосистем и обработки сигналов Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, [vladimi-volkov@yandex.ru](mailto:vladimi-volkov@yandex.ru)

- 
- ВОЛОВИКОВ** кандидат технических наук, старший преподаватель  
Владимир Сергеевич кафедры технического обеспечения связи и автоматизации Военной академии связи имени маршала Советского Союза С. М. Буденного, [bbcvc@yandex.ru](mailto:bbcvc@yandex.ru)
- ВОЛОКОБИНСКИЙ** аспирант кафедры радиосистем и обработки сигналов  
Евгений Михайлович Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, [voloknatal@mail.ru](mailto:voloknatal@mail.ru)
- ВОРОБЬЕВ** кандидат технических наук, заведующий кафедрой  
Олег Владимирович радиопередающих устройств и средств подвижной связи Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, [vorobievov@bk.ru](mailto:vorobievov@bk.ru)
- ВЫЛЕГЖАНИН** адъюнкт 12 кафедры Военной академии связи имени  
Антон Николаевич Маршала Советского Союза С. М. Буденного, [valik.jan@mail.ru](mailto:valik.jan@mail.ru)
- ГАВРИШ** старший оператор научной роты Военной академии  
Роман Сергеевич связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного, [gavrishrs@mail.ru](mailto:gavrishrs@mail.ru)
- ГЕЛЬ** кандидат военных наук, доцент, начальник НИЦ  
Валентин Эдуардович Военной академии связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного, [basynya.vladimir@yandex.ru](mailto:basynya.vladimir@yandex.ru)
- ГИРШ** начальник Учебного военного центра Института  
Виталий Александрович военного образования Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, [vgirsh@yandex.ru](mailto:vgirsh@yandex.ru)
- ГЛУШАКОВ** кандидат медицинских наук, доцент кафедры  
Руслан Иванович фармакологии и доказательной медицины Санкт-Петербургского государственного педиатрического медицинского университета, [glushakovruslan@gmail.com](mailto:glushakovruslan@gmail.com)
- ГОГОЛЬ** доктор технических наук, профессор, заведующий  
Александр Александрович кафедрой телевидения и метрологии Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, [al.gogol@mail.ru](mailto:al.gogol@mail.ru)
- ГОЛОД** кандидат технических наук, доцент кафедры  
Олег Саулович радиосистем и обработки сигналов Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, [oleg-spbru@yandex.ru](mailto:oleg-spbru@yandex.ru)



- 
- ГОРАЙ** кандидат технических наук, доцент кафедры военных систем многоканальной электропроводной и оптической связи Военной академии связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного, [ZhuravlevDmitriy84@yandex.ru](mailto:ZhuravlevDmitriy84@yandex.ru)  
Иван Иванович
- ГОРБАЧЕВА** студентка Учебного военного центра Института военного образования Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, [gorba4evanadejda@yandex.ru](mailto:gorba4evanadejda@yandex.ru)  
Мария Анатольевна
- ГОРДИЙЧУК** начальник цикла – старший преподаватель, Учебного военного центра Института военного образования Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, [rusgord@rambler.ru](mailto:rusgord@rambler.ru)  
Руслан Викторович
- ГРЕКОВ** доктор технических наук, профессор кафедры экологии и безопасности жизнедеятельности Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, [grekovkb@yandex.ru](mailto:grekovkb@yandex.ru)  
Константин Борисович
- ГРИГОРЯН** слушатель Военной академии связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного, [p\\_oleg99@mail.ru](mailto:p_oleg99@mail.ru)  
Вазген Мкртичович
- ГРИДНЕВ** начальник цикла военной кафедры Института военного образования Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, [vagridnev161962@mail.ru](mailto:vagridnev161962@mail.ru)  
Василий Александрович
- ГРИНЁВА** студентка Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, [greenevaanna@gmail.com](mailto:greenevaanna@gmail.com)  
Анна Константиновна
- ГРИЦЕНКО** студентка группы ИКТВ-31 Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, [gricenco.yulya@yandex.ru](mailto:gricenco.yulya@yandex.ru)  
Юлия Сергеевна
- ГРИШАНОВ** начальник отдела отделения специальных проектов Открытого акционерного общества «СУПЕРТЕЛ», [sibwild@mail.ru](mailto:sibwild@mail.ru)  
Вадим Геннадьевич
- ГРУЗДЕВА** магистрант кафедры радиосвязи и вещания Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, [nadya-gruzdeva@yandex.ru](mailto:nadya-gruzdeva@yandex.ru)  
Надежда Андреевна

- 
- ГУБСКАЯ старший лейтенант, курсовой офицер-преподаватель  
Оксана Александровна 1 факультета Военного института физической культуры  
Министерства обороны РФ,  
[oksanochka23932393@mail.ru](mailto:oksanochka23932393@mail.ru)
- ГУРЕВИЧ кандидат технических наук, профессор кафедры  
Виктор Элизарович радиосистем и обработки сигналов Санкт-  
Петербургского государственного университета  
им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, [gurvic23@mail.ru](mailto:gurvic23@mail.ru)
- ДАНИЛОВИЧ доктор технических наук, профессор,  
Олег Сигизмундович [danilovich-spb@yandex.ru](mailto:danilovich-spb@yandex.ru)
- ДВОРОВОЙ кандидат технических наук, доцент кафедры военных  
Максим Олегович систем космической, радиорелейной, тропосферной  
связи и навигации Военной академии связи имени  
Маршала Советского Союза С. М. Буденного,  
[maxdmo@rambler.ru](mailto:maxdmo@rambler.ru)
- ДЕВЯТКИН магистрант кафедры радиосистем и обработки сигналов  
Денис Викторович Санкт-Петербургского государственного университета  
телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича,  
[denisdevyatkin9@mail.ru](mailto:denisdevyatkin9@mail.ru)
- ДЁШИНА старший преподаватель кафедры конструирования и  
Наталия Олеговна производства радиоэлектронных средств Санкт-  
Петербургского государственного университета  
телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича,  
[salo\\_piter141@mail.ru](mailto:salo_piter141@mail.ru)
- ДРОБЯСКИН начальник учебной части – заместитель начальника  
Андрей Николаевич отдела Учебного военного центра Института военного  
образования Санкт-Петербургского государственного  
университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-  
Бруевича, [dan8@mail.ru](mailto:dan8@mail.ru)
- ДУКЕЛЬСКИЙ кандидат технических наук, доцент, проректор по  
Константин научной работе Санкт-Петербургского государственного  
Владимирович университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-  
Бруевича, [vicerecator.sc@sut.ru](mailto:vicerecator.sc@sut.ru)
- ДУНАЕВ курсант Военной академии связи имени Маршала  
Константин Советского Союза С. М. Буденного,  
Владимирович [ZhuravlevDmitriy84@yandex.ru](mailto:ZhuravlevDmitriy84@yandex.ru)
- ДУНАЕВА студентка группы ИКТВ-31 Санкт-Петербургского  
Анастасия Алексеевна государственного университета телекоммуникаций  
им. проф. М. А. Бонч-Бруевича,  
[anastasiydunaeva@yandex.ru](mailto:anastasiydunaeva@yandex.ru)

- ЕВСТАФЬЕВА Янина Владимировна аспирант кафедры телевидения и метрологии Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникация им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, [highway18@gmail.com](mailto:highway18@gmail.com)
- ЕГОРОВ Станислав Геннадьевич ассистент кафедры радиосистем и обработки сигналов Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, [sgegorov@gmail.com](mailto:sgegorov@gmail.com)
- ЖАДАН Олег Павлович преподаватель кафедры военных систем многоканальной электропроводной и оптической связи Военной академии связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного, [Gadan\\_op@mail.ru](mailto:Gadan_op@mail.ru)
- ЖИРОВ Виктор Аркадьевич доктор технических наук, профессор, начальник научно-исследовательского отдела систем радиосвязи Санкт-Петербургского филиала «Ленинградское отделение научно-исследовательского института радио», [vzhspb@loniir.ru](mailto:vzhspb@loniir.ru)
- ЖУКОВСКИЙ Илья Игоревич студент Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, [iliazhukovski@gmail.com](mailto:iliazhukovski@gmail.com)
- ЖУРАВЛЕВ Дмитрий Анатольевич кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры военных систем многоканальной электропроводной и оптической связи Военной академии связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного, [ZhuravlevDmitriy84@yandex.ru](mailto:ZhuravlevDmitriy84@yandex.ru)
- ЗАЙЦЕВ Сергей Геннадьевич кандидат технических наук, доцент, начальник научно-исследовательской лаборатории спутниковых систем радиосвязи Санкт-Петербургского филиала «Ленинградское отделение научно-исследовательского института радио», [zaitsev@loniir.ru](mailto:zaitsev@loniir.ru)
- ЗАМАНОВ Алексей Сергеевич курсант факультета радиосвязи Военной академии связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного, [lexa\\_zh\\_96@mail.ru](mailto:lexa_zh_96@mail.ru)
- ИВАНОВ Василий Геннадьевич кандидат военных наук, доцент кафедры организации связи Военной академии связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного, [wasj2006@yandex.ru](mailto:wasj2006@yandex.ru)
- ИВАНОВ Владимир Кузьмович старший преподаватель кафедры экологии и безопасности жизнедеятельности Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, [v.k.ivanov@mail.ru](mailto:v.k.ivanov@mail.ru)

- ИВАНОВ адъюнкт 32 кафедры Военной академии связи имени  
Денис Александрович Маршала Советского Союза С. М. Буденного,  
[prosto\\_deniss@mail.ru](mailto:prosto_deniss@mail.ru)
- ИВАНОВ кандидат технических наук, старший научный  
Сергей Александрович сотрудник научной роты Военной академии связи имени  
Маршала Советского Союза С. М. Буденного,  
[vanec123@mail.ru](mailto:vanec123@mail.ru)
- ИВАНОВА студентка медико-профилактического факультета  
Екатерина Васильевна Северо-Западного государственного медицинского  
университета И. И. Мечникова,  
[iwanowa.katj@yandex.ru](mailto:iwanowa.katj@yandex.ru)
- ИСУПОВА старший преподаватель кафедры автоматизации  
Екатерина Анатольевна предприятий связи Санкт-Петербургского  
государственного университета телекоммуникаций  
им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, [kat\\_isupova@list.ru](mailto:kat_isupova@list.ru)
- КАЖАН студентка Учебного военного центра Института  
Владлена Михайловна военного образования Санкт-Петербургского  
государственного университета телекоммуникаций  
им. проф. М. А. Бонч-Бруевича,  
[vladlena.kazhan@mail.ru](mailto:vladlena.kazhan@mail.ru)
- КАЗАКЕВИЧ кандидат технических наук, доцент кафедры  
Елена Владимировна «Электрическая связь» Петербургского  
государственного университета путей сообщения  
императора Александра I, [kev-pgups@yandex.ru](mailto:kev-pgups@yandex.ru)
- КАЛМЫКОВ адъюнкт кафедры организации связи Военной академии  
Денис Александрович связи имени Маршала Советского Союза  
С. М. Буденного, [dekac29@mail.ru](mailto:dekac29@mail.ru)
- КАПРАЛОВ аспирант кафедры конструирования и производства  
Дмитрий Дмитриевич радиоэлектронных средств Санкт-Петербургского  
государственного университета телекоммуникаций  
им. проф. М. А. Бонч-Бруевича,  
[dmitry\\_kapralov@mail.ru](mailto:dmitry_kapralov@mail.ru)
- КАРАБАНОВА аспирант кафедры геоинформационных систем Санкт-  
Татьяна Николаевна Петербургского национального исследовательского  
университета информационных технологий, механики  
и оптики, [atyanaaksenova@ya.ru](mailto:atyanaaksenova@ya.ru)
- КАРНАУХ кандидат военных наук, доцент, старший научный  
Александр Федорович сотрудник НИЦ Военной академии связи имени  
Маршала Советского Союза С. М. Буденного,  
[basynya.vladimir@yandex.ru](mailto:basynya.vladimir@yandex.ru)

- 
- КАРПОВ старший оператор научной роты Военной академии  
Иван Николаевич связи имени Маршала Советского Союза  
С. М. Буденного, [karpov.ivan.nikolaevich@gmail.com](mailto:karpov.ivan.nikolaevich@gmail.com)
- КАЧНОВ начальник научно-образовательного центра  
Андрей Владимирович «Беспроводные инфотелекоммуникационные сети»  
Санкт-Петербургского государственного университета  
телекоммуникаций им проф. М. А. Бонч-Бруевича,  
[89052880369@mail.ru](mailto:89052880369@mail.ru)
- КИРЕЕВ аспирант кафедры радиосвязи и вещания Санкт-  
Артем Валерьевич Петербургского государственного университета  
телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича,  
[kireyev@list.ru](mailto:kireyev@list.ru)
- КИРИК кандидат технических наук, доцент, заведующий  
Дмитрий Игоревич кафедрой конструирования и производства  
радиоэлектронных средств, декан факультета  
радиотехнологий связи Санкт-Петербургского  
государственного университета телекоммуникаций  
им. проф. М. А. Бонч-Бруевича,  
[d\\_i\\_kirik@mail.ru](mailto:d_i_kirik@mail.ru)
- КИРИЧЕК кандидат технических наук, доцент кафедры сетей связи  
Руслан Валентинович и передачи данных Санкт-Петербургского  
государственного университета телекоммуникаций им.  
проф. М. А. Бонч-Бруевича, [kirichek@sut.ru](mailto:kirichek@sut.ru)
- КИСЕЛЕВ начальник учебной части Военной академии связи  
Константин Николаевич имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного,  
[kiselev2300@mail.ru](mailto:kiselev2300@mail.ru)
- КОВАЛЕВА кандидат технических наук, доцент кафедры  
Татьяна Юрьевна конструирования и производства радиоэлектронных  
средств Санкт-Петербургского государственного  
университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-  
Бруевича, [tankrivos@yandex.ru](mailto:tankrivos@yandex.ru)
- КОЗЛОВ доктор технических наук, доцент, профессор кафедры  
Сергей Владимирович радиоэлектронных и телекоммуникационных систем  
Института радиотехники и телекоммуникаций  
Казанского национального исследовательского  
технического университета им. А. Н. Туполева – КАИ,  
[ks16v@yandex.ru](mailto:ks16v@yandex.ru)
- КОЛЕСОВ главный специалист научно-образовательного центра  
Алексей Константинович «Медиацентр» Санкт-Петербургского государственного  
университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-  
Бруевича, [Stereo3dCourse@gmail.com](mailto:Stereo3dCourse@gmail.com)

- 
- КОНДРАШОВ Захар Константинович Председатель совета директоров ОАО «Позитрон»,  
[zahar.kondrashov@positron.spb.ru](mailto:zahar.kondrashov@positron.spb.ru)
- КОНОВАЛОВ Леонид Михайлович кандидат технических наук, профессор, ведущий научный сотрудник Санкт-Петербургского филиала «Ленинградское отделение научно-исследовательского института радио», [klm@loniir.ru](mailto:klm@loniir.ru)
- КОРОБКОВ Егор Сергеевич адъюнкт Военной академии связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного, [kes\\_egor@mail.ru](mailto:kes_egor@mail.ru)
- КОРЧАГИН Мстислав Сергеевич студент Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, [korchagin.mstislav@mail.ru](mailto:korchagin.mstislav@mail.ru)
- КОРЯКИН Денис Дмитриевич командир научного взвода – младший научный сотрудник Военной академии связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного, [koryakinen@gmail.com](mailto:koryakinen@gmail.com)
- КОЦЫНЯК Михаил Антонович доктор технических наук, профессор 32 кафедры Военной академии связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного, [laos-82@yandex.ru](mailto:laos-82@yandex.ru)
- КРИВОШЕЙ Ольга Игоревна курсант 3 факультета Военной академии связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного, [ya.olga0125@yandex.ru](mailto:ya.olga0125@yandex.ru)
- КРИВЦОВ Станислав Петрович старший преподаватель кафедры организации связи Военной академии связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного, [staskriv@mail.ru](mailto:staskriv@mail.ru)
- КУБАЛОВА Анна Рудольфовна кандидат технических наук, доцент кафедры теории электрических цепей и связи Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, [kubalovaap@mail.ru](mailto:kubalovaap@mail.ru)
- КУЗЬМИН Сергей Викторович кандидат физико-математических наук, доцент кафедры конструирования и производства радиоэлектронных средств Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, [sergey-v-kuzmin@yandex.ru](mailto:sergey-v-kuzmin@yandex.ru)
- КУЛИКОВ Владимир Алексеевич кандидат технических наук, доцент, старший преподаватель кафедры автоматизированных систем специального назначения Военной академии связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного, [p\\_oleg99@mail.ru](mailto:p_oleg99@mail.ru)

- КУЛИКОВ Максим Владимирович кандидат технических наук, преподаватель кафедры радиоэлектронной разведки и радиоэлектронной борьбы Военной академии связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного, [p\\_oleg99@mail.ru](mailto:p_oleg99@mail.ru)
- КУЛИКОВ Сергей Павлович аспирант кафедры телевидения и метрологии Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, [kulikovsp.rtrn@yandex.ru](mailto:kulikovsp.rtrn@yandex.ru)
- КУН Наталья Юрьевна студентка Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, [kunnata@mail.ru](mailto:kunnata@mail.ru)
- КУПЧИНЕНКО Ольга Павловна преподаватель кафедры автоматизированных систем специального назначения Военной академии связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного, [k-olga102@yandex.ru](mailto:k-olga102@yandex.ru)
- ЛАЗАРЕВ Виталий Олегович магистрант кафедры радиосвязи и вещания Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, [laviol.94@gmail.com](mailto:laviol.94@gmail.com)
- ЛАУТА Олег Сергеевич кандидат технических наук, преподаватель 32 кафедры Военной академии связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного, [laos-82@yandex.ru](mailto:laos-82@yandex.ru)
- ЛЕБЕДА Евгений Вячеславович адъюнкт Военной академии связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного, [zhe48@yandex.ru](mailto:zhe48@yandex.ru)
- ЛИКОНЦЕВ Алексей Николаевич кандидат технических наук, доцент кафедры радиосистем и обработки сигналов Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, [likontsev-rts@mail.ru](mailto:likontsev-rts@mail.ru)
- ЛОМАКОВА Анастасия Сергеевна инженер ПАО «Интелтех», [aslom24@yandex.ru](mailto:aslom24@yandex.ru)
- ЛУБЯННИКОВ Александр Андреевич кандидат педагогических наук, доцент, директор Института военного образования Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, [kisasig@yandex.ru](mailto:kisasig@yandex.ru)
- ЛУКЬЯНЧИК Валентин Николаевич кандидат военных наук, доцент, старший научный сотрудник НИЦ Военной академии связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного, [basynya.vladimir@yandex.ru](mailto:basynya.vladimir@yandex.ru)



- 
- ЛЯНГУЗОВ Данила Андреевич курсант Военной академии связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного, [danielgz@mail.ru](mailto:danielgz@mail.ru)
- МАКАРОВ Леонид Михайлович кандидат технических наук, профессор кафедры конструирования и производства радиоэлектронных средств Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, [elfbio@gmail.com](mailto:elfbio@gmail.com)
- МАЛЫШЕВ Алексей Геннадьевич аспирант кафедры конструирования и производства радиоэлектронных средств Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, [agmalyshev93@mail.ru](mailto:agmalyshev93@mail.ru)
- МАЛЫШКО Андрей Викторович кандидат педагогических наук, заместитель начальника Военного института физической культуры Министерства обороны РФ, [Gadan\\_op@mail.ru](mailto:Gadan_op@mail.ru)
- МАНВЕЛОВА Наталья Евгеньевна кандидат технических наук, доцент кафедры экологии и безопасности жизнедеятельности Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, [manvelova@inbox.ru](mailto:manvelova@inbox.ru)
- МАНВЕЛОВА Тамара Александровна студентка Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина), [tamaramanvelova239@mail.ru](mailto:tamaramanvelova239@mail.ru)
- МАРЧЕНКО Дмитрий Валентинович кандидат технических наук, доцент, заместитель начальника кафедры военных систем многоканальной электропроводной и оптической связи Военной академии связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного, [marchello2000@mail.ru](mailto:marchello2000@mail.ru)
- МАРЧЕНКОВ Алексей Алексеевич начальник учебной части – заместитель начальника учебного военного центра Института военного образования Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, [marchelom@mail.ru](mailto:marchelom@mail.ru)
- МАТВЕЙКИН Григорий Валерьевич старший научный сотрудник НИЦ, старший оператор научной роты Военной академии связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного, [matveykingv@gmail.com](mailto:matveykingv@gmail.com)
- МЕЛЬНИК Владимир Николаевич кандидат военных наук, доцент, старший научный сотрудник НИЦ Военной академии связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного, [basynya.vladimir@yandex.ru](mailto:basynya.vladimir@yandex.ru)



- 
- МЕШАЛКИН** Валентин Андреевич кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник научно-исследовательского центра Военной академии связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного, [vladimir.anikin.2013@gmail.com](mailto:vladimir.anikin.2013@gmail.com)
- МЕШКОВ** Илья Сергеевич адъюнкт кафедры военных систем космической, радиорелейной, тропосферной связи и навигации Военной академии связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного, [ilya.meshkov.1987@mail.ru](mailto:ilya.meshkov.1987@mail.ru)
- МИКИНА** Надежда Сергеевна курсант 3 факультета Военной академии связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного, [MikinaN95@yandex.ru](mailto:MikinaN95@yandex.ru)
- МИТЛАШ** Александр Николаевич магистрант радиосистем и обработки сигналов Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, [renq3x@gmail.com](mailto:renq3x@gmail.com)
- МОЛОТКОВ** Юрий Алексеевич кандидат технических наук, начальник научно-исследовательской лаборатории наземных систем радиосвязи Санкт-Петербургского филиала «Ленинградское отделение научно-исследовательского института радио», [molotkov@loniir.ru](mailto:molotkov@loniir.ru)
- МОСЕЕВ** Василий Ильич Кандидат исторических наук, доцент военной кафедры Института военного образования Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, [vasismo@yandex.ru](mailto:vasismo@yandex.ru)
- МОСЯГИН** Дмитрий Евгеньевич курсант Военной академии связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного, [p\\_oleg99@mail.ru](mailto:p_oleg99@mail.ru)
- МУЗЫКАНТОВ** Алексей Николаевич заместитель начальника учебного военного центра Института военного образования Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, [muzal@mail.ru](mailto:muzal@mail.ru)
- МЯКОТИН** Александр Викторович доктор технических наук, профессор кафедры организации связи Военной академии связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного, [aleksandrmyakotin@gmail.com](mailto:aleksandrmyakotin@gmail.com)
- НЕИЖМАК** Алексей Владимирович адъюнкт кафедры автоматизированных систем специального назначения Военной академии связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного, [Leshechka\\_87@mail.ru](mailto:Leshechka_87@mail.ru)

- 
- НЕЧЕПУРЕНКО Александр Петрович адъюнкт 32 кафедры Военной академии связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного, [Texas\\_m720ex@mail.ru](mailto:Texas_m720ex@mail.ru)
- ОВСЯННИКОВ Станислав Николаевич адъюнкт кафедры Военной академии связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного, [p\\_oleg99@mail.ru](mailto:p_oleg99@mail.ru)
- ОВЧАРЕНКО Алексей Васильевич ведущий инженер-программист научно-исследовательской лаборатории спутниковых систем радиосвязи Санкт-Петербургского филиала «Ленинградское отделение научно-исследовательского института радио» [ao@loniir.ru](mailto:ao@loniir.ru)
- ОДОЕВСКИЙ Сергей Михайлович доктор технических наук, профессор кафедры сетей связи и систем коммутации Военной академии связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного, [odse@rambler.ru](mailto:odse@rambler.ru)
- ОРЛОВА Людмила Ивановна преподаватель кафедры организации связи Военной академии связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного, [akacia25@rambler.ru](mailto:akacia25@rambler.ru)
- ОСТРОУМОВ Максим Александрович инженер войсковой части 40273, [coj1991@mail.ru](mailto:coj1991@mail.ru)
- ОСТРОУМОВ Олег Александрович кандидат технических наук, преподаватель Военной академии связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного, [oleg-26stav@mail.ru](mailto:oleg-26stav@mail.ru)
- ПАДИШИН Сергей Александрович кандидат военных наук, доцент, профессор кафедры организации связи Военной академии связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного, [chesstar@mail.ru](mailto:chesstar@mail.ru)
- ПАНИХИДНИКОВ Сергей Александрович кандидат военных наук, доцент военной кафедры Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, [panihidnikov@mail.ru](mailto:panihidnikov@mail.ru)
- ПАНКОВ Роман Николаевич слушатель командного факультета Военной академии связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного, [ronasava@mail.ru](mailto:ronasava@mail.ru)
- ПАНТЮХИН Олег Игоревич кандидат технических наук, доцент кафедры Военной академии связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного, [p\\_oleg99@mail.ru](mailto:p_oleg99@mail.ru)

- 
- ПАРИЦКАЯ Диана Алексеевна аспирантка кафедры телевидения и метрологии Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, [dipari91@gmail.com](mailto:dipari91@gmail.com)
- ПЕТРОВ Артем Александрович магистрант кафедры геоинформационных систем Санкт-Петербургского национального исследовательского университета информационных технологий, механики и оптики, [pop93\\_93@bk.ru](mailto:pop93_93@bk.ru)
- ПИРМАГОМЕДОВ Рустам Ярахмедович кандидат технических наук, доцент кафедры сетей связи и передачи данных Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, [lts.pto@yandex.ru](mailto:lts.pto@yandex.ru)
- ПОДДУБНЫЙ Сергей Сергеевич кандидат технических наук, доцент кафедры радиосистем и обработки сигналов Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, [poddubnyy\\_47@mail.ru](mailto:poddubnyy_47@mail.ru)
- ПОДОЛЬСКИЙ Дмитрий Анатольевич ведущий инженер НОЦ «Медиацентр» Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, [podolsky.dmitry94@gmail.com](mailto:podolsky.dmitry94@gmail.com)
- ПОЗНЯК Владислав Юрьевич курсант факультета радиосвязи Военной академии связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного, [vlad.p-96@mail.ru](mailto:vlad.p-96@mail.ru)
- ПОКРОВСКАЯ Вера Игоревна аспирант кафедры конструирования и производства радиоэлектронных средств Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, [panchenko\\_vera@bk.ru](mailto:panchenko_vera@bk.ru)
- ПОНАМАРЕВ Михаил Павлович кандидат военных наук, доцент, старший научный сотрудник НИЦ Военной академии связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного, [mppon@mail.ru](mailto:mppon@mail.ru)
- ПОНАМАРЕВ Николай Владимирович ведущий инженер Санкт-Петербургского предприятия «Специализированное конструкторское бюро «Энергия», [n.ponamarev@gmail.com](mailto:n.ponamarev@gmail.com)
- ПРИСЯЖНЮК Андрей Сергеевич кандидат технических наук, исполнительный директор ЗАО «Институт телекоммуникаций», [pas@itain.ru](mailto:pas@itain.ru)

- 
- ПРИСЯЖНИОК** Заслуженный деятель науки Российской Федерации,  
Сергей Прокофьевич доктор технических наук, профессор, заведующий  
кафедрой ГИС ИТМО, генеральный директор ЗАО  
«Институт телекоммуникаций», главный редактор  
журнала «Информация и космос»,  
[spprisyzhnyuk@corp.ifmo.ru](mailto:spprisyzhnyuk@corp.ifmo.ru)
- ПРОТАСЕНЯ** кандидат технических наук, доцент кафедры  
Сергей Витальевич конструирования и производства радиоэлектронных  
средств Санкт-Петербургского государственного  
университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-  
Бруевича, [saitvodabur@yandex.ru](mailto:saitvodabur@yandex.ru)
- ПУСТАРНАКОВА** магистрант Санкт-Петербургского государственного  
Юлия Ивановна университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-  
Бруевича, [tankrivirus@yandex.ru](mailto:tankrivirus@yandex.ru)
- РЕПЬЕВ** старший преподаватель Военной академии связи имени  
Игорь Николаевич Маршала Советского Союза С. М. Буденного,  
[repev85@mail.ru](mailto:repev85@mail.ru)
- РОГОЗИНСКИЙ** кандидат технических наук, заместитель начальника  
Глеб Гендрихович научно-образовательного центра «Медиацентр», доцент  
кафедры радиосвязи и вещания Санкт-Петербургского  
государственного университета телекоммуникаций  
им. проф. М. А. Бонч-Бруевича,  
[gleb.rogozinsky@gmail.com](mailto:gleb.rogozinsky@gmail.com)
- РУСИН** кандидат технических наук, заместитель начальника  
Сергей Васильевич отдела ПАО «Интелтех», [rusin\\_spb@mail.ru](mailto:rusin_spb@mail.ru)
- РЫБАКОВ** аспирант кафедры радиопередающих устройств и  
Алексей Игоревич средств подвижной связи Санкт-Петербургского  
государственного университета телекоммуникаций  
им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, [lexeus.r1@gmail.com](mailto:lexeus.r1@gmail.com)
- РЫЖИКОВА** старший преподаватель кафедры конструирования и  
Татьяна Аркадьевна производства радиоэлектронных средств Санкт-  
Петербургского государственного университета  
телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича,  
[t.rigikova@yandex.ru](mailto:t.rigikova@yandex.ru)
- РЫЖКОВ** кандидат технических наук, доцент кафедры радиосвязи  
Александр Евгеньевич и вещания Санкт-Петербургского государственного  
университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-  
Бруевича, [aryjkov@mail.ru](mailto:aryjkov@mail.ru)
- САВЕНКОВА** инженер ПАО «Интелтех»,  
Юлия Владимировна [poli-teh@list.ru](mailto:poli-teh@list.ru)

- 
- САГДЕЕВ кандидат технических наук, старший преподаватель  
Александр учебно-военного центра Института военного  
Константинович образования Санкт-Петербургского государственного  
университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-  
Бруевича, [brother-aks@yandex.ru](mailto:brother-aks@yandex.ru)
- САЗОНОВ кандидат технических наук, доцент кафедры Военной  
Виктор Викторovich академии связи имени Маршала Советского Союза  
С. М. Буденного, [vmktor-sazonov@yandex.ru](mailto:vmktor-sazonov@yandex.ru)
- САКОВА кандидат технических наук, доцент кафедры экологии и  
Наталья Владимировна безопасности жизнедеятельности Санкт-Петербургского  
государственного университета телекоммуникаций  
им. проф. М. А. Бонч-Бруевича,  
[nat.sakova@mail.ru](mailto:nat.sakova@mail.ru)
- САЛЬНИКОВ кандидат технических наук, старший преподаватель  
Денис Владимирович кафедры военных систем космической, радиорелейной,  
тропосферной связи и навигации Военной академии  
связи имени Маршала Советского Союза  
С. М. Буденного, [denis\\_salnikov@mail.ru](mailto:denis_salnikov@mail.ru)
- САМАРКИН подполковник, старший преподаватель учебного  
Денис Сергеевич военного центра Института военного образования  
Санкт-Петербургского государственного университета  
телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича,  
[Denst2006@yandex.ru](mailto:Denst2006@yandex.ru)
- САФРОНОВ курсант факультета радиосвязи Военной академии связи  
Валентин Алексеевич имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного,  
[hapko95@mail.ru](mailto:hapko95@mail.ru)
- САХАРОВ кандидат технических наук, доцент кафедры  
Дмитрий Владимирович защищенных систем связи Санкт-Петербургского  
государственного университета телекоммуникаций  
им. проф. М. А. Бонч-Бруевича государственный  
советник Российской Федерации 2 класса, руководитель  
Управления Роскомнадзора по Северо-Западному  
федеральному округу; [D.Sakharov@rkn.gov.ru](mailto:D.Sakharov@rkn.gov.ru)
- СЕВОСТЬЯНОВА студентка учебного военного центра Института  
Наталья Игоревна военного образования Санкт-Петербургского  
государственного университета телекоммуникаций  
им. проф. М. А. Бонч-Бруевича,  
[velichko90@mail.ru](mailto:velichko90@mail.ru)
- СЕДУНОВА курсант Военной академии связи имени Маршала  
Ирина Дмитриевна Советского Союза С. М. Буденного,  
[ZhuravlevDmitriy84@yandex.ru](mailto:ZhuravlevDmitriy84@yandex.ru)

- 
- СИДОРЕНКО Евгений Николаевич старший преподаватель Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, [brother-aks@yandex.ru](mailto:brother-aks@yandex.ru)
- СКАКУН Артем Александрович кандидат философских наук, советник государственной гражданской службы Российской Федерации 3 класса, помощник руководителя Управления Роскомнадзора по Северо-Западному федеральному округу, [a.skakun@rkn.gov.ru](mailto:a.skakun@rkn.gov.ru)
- СНЕЖКО Виктор Канистратович кандидат технических наук, доцент кафедры Военной академии связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного, [snevic@mail.ru](mailto:snevic@mail.ru)
- СОКОЛОВ Александр Сергеевич кандидат технических наук, доцент кафедры военных систем многоканальной электропроводной и оптической связи Военной академии связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного, [ZhuravlevDmitriy84@yandex.ru](mailto:ZhuravlevDmitriy84@yandex.ru)
- СПИРИН Александр Дмитриевич инженер-исследователь научно-исследовательской лаборатории радиоконтроля и электромагнитной совместимости Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, [alex.d.spirin@gmail.com](mailto:alex.d.spirin@gmail.com)
- СПИРИНА Елена Александровна кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры радиоэлектронных и телекоммуникационных систем Института радиоэлектроники и телекоммуникаций Казанского национального исследовательского технического университета им. А. Н. Туполева – КАИ, [selena\\_kazan@mail.ru](mailto:selena_kazan@mail.ru)
- СТАРИКОВ Владимир Владимирович ассистент и аспирант кафедры радиосвязи и вещания Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, [vl.vl.starikov@gmail.com](mailto:vl.vl.starikov@gmail.com)
- СТАХЕЕВ Иван Геннадьевич кандидат технических наук, доцент учебного военного центра Института военного образования Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, [kisasig@yandex.ru](mailto:kisasig@yandex.ru)
- СТАХЕЕВ Константин Иванович студент группы ИКТВ-33 Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, [kos-leopold@mail.ru](mailto:kos-leopold@mail.ru)

- 
- СТЕПАНОВ** кандидат технических наук, доцент кафедры радиосистем и обработки сигналов Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, [dsp.sut@yandex.ru](mailto:dsp.sut@yandex.ru)  
Андрей Борисович
- СТЕПУТИН** кандидат технических наук, доцент кафедры радиосвязи и вещания Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, руководитель проекта 1234G.ru, председатель Оргкомитета Международного съезда TELECOMTREND «Технологии мобильной и беспроводной связи. Тренды и перспективы», [steputin@1234G.ru](mailto:steputin@1234G.ru)  
Антон Николаевич
- СТУРМАН** доктор географических наук, профессор кафедры экологии и безопасности жизнедеятельности Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, [st@izh.com](mailto:st@izh.com)  
Владимир Ицхакович
- СУНГАТУЛЛИН** аспирант кафедры радиосвязи и вещания Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, [sungeldar@mail.ru](mailto:sungeldar@mail.ru)  
Эльдар Нурисламович
- ТАТАРЕНКОВ** аспирант кафедры телевидения и метрологии Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, [duferob@gmail.com](mailto:duferob@gmail.com)  
Дмитрий Александрович
- ТЕВС** адъюнкт кафедры организации связи Военной академии связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного, [tevsolog@rambler.ru](mailto:tevsolog@rambler.ru)  
Олег Павлович
- ТИТОВ** кандидат технических наук, доцент кафедры Военной академии связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного, [p\\_oleg99@mail.ru](mailto:p_oleg99@mail.ru)  
Владимир Степанович
- ТОЛМАЧЕВА** студентка группы ИКТВ-34 Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, [sima.01@mail.ru](mailto:sima.01@mail.ru)  
Алина Ивановна
- ТУМАНОВА** преподаватель кафедры телевидения и метрологии Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, [evjeny@gmail.com](mailto:evjeny@gmail.com)  
Евгения Ивановна



- 
- ТУМАШОВ Андрей Витальевич магистрант кафедры конструирования и производства радиоэлектронных средств Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, [icenark@yandex.ru](mailto:icenark@yandex.ru)
- УДАЛЬЦОВ Александр Александрович помощник начальника учебно-методического отдела, Военной академии связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного, [axil2003@yandex.ru](mailto:axil2003@yandex.ru)
- УКРАИНСКИЙ Олег Владимирович кандидат технических наук, доцент кафедры телевидения и метрологии Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, [oleg.ukraunskiy@gmail.com](mailto:oleg.ukraunskiy@gmail.com)
- УСС Владимир Станиславович кандидат технических наук, доцент, начальник научно-образовательного центра «Технологии информационных и образовательных систем» Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, [uss\\_w@mail.ru](mailto:uss_w@mail.ru)
- УСТИМЕНКО Вячеслав Михайлович кандидат технических наук, доцент кафедры радиосвязи и вещания Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, [ustimenko38@yandex.ru](mailto:ustimenko38@yandex.ru)
- ФЕДОРОВ Сергей Леонидович кандидат технических наук, доцент кафедры телевидения и метрологии Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, [sergf7@mail.ru](mailto:sergf7@mail.ru)
- ФОКИН Григорий Алексеевич кандидат технических наук, доцент кафедры радиосвязи и вещания Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, [grihafokin@gmail.com](mailto:grihafokin@gmail.com)
- ФРОЛОВА Юлия Аркадьевна студентка учебного военного центра Института военного образования Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, [fr95juli@mail.ru](mailto:fr95juli@mail.ru)
- ХАРЬКОВ Олег Игоревич магистрант кафедры радиосистем и обработки сигналов Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, [olegkharkov93@gmail.com](mailto:olegkharkov93@gmail.com)
- ХМЕЛЕВСКОЙ Валерий Павлович кандидат военных наук, доцент кафедры Военной академии связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного, [p\\_oleg99@mail.ru](mailto:p_oleg99@mail.ru)



- 
- ХМЕЛЛЯР Николай Александрович курсант Военной академии связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного, [theboyxxx@yandex.ru](mailto:theboyxxx@yandex.ru)
- ХОБОРОВА Вера Петровна адъюнкт кафедры сетей связи и систем коммутации Военной академии связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного, [khoborova.vera@yandex.ru](mailto:khoborova.vera@yandex.ru)
- ЧЕБОТАРЁВ Владимир Иванович доцент кафедры организации связи Военной академии связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного, [vlad.chebotarev@gmail.com](mailto:vlad.chebotarev@gmail.com)
- ЧЕРЕНКОВ Виктор Егорович кандидат педагогических наук, доцент военной кафедры Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, [cherenkovve@mail.ru](mailto:cherenkovve@mail.ru)
- ШАХОБИДДИНОВ Алишер Шопатхиддинович старший преподаватель кафедры «Системы телерадиовещания» Ташкентского Университета информационных технологий, [alishah@list.ru](mailto:alishah@list.ru)
- ШЕВЧЕНКО Василий Васильевич кандидат военных наук, начальник лаборатории ПАО «Интелтех», [Vasily.Shevchenco2014@yandex.ru](mailto:Vasily.Shevchenco2014@yandex.ru)
- ШИНКАРЕВ Семен Александрович кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры автоматизированных систем специального назначения Военной академии связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного, [se\\_men82@mail.ru](mailto:se_men82@mail.ru)
- ШИРОКОВ Иван Сергеевич оператор научной роты Военной академии связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного, [shirokoff.vanya@yandex.ru](mailto:shirokoff.vanya@yandex.ru)
- ШОВДРА Владислав Витальевич старший оператор научной роты Военной академии связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного, [shovdravv@gmail.com](mailto:shovdravv@gmail.com)
- ШТЕРЕНБЕРГ Игорь Григорьевич кандидат педагогических наук, заместитель директора Института военного образования Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, [shterenberg@yandex.ru](mailto:shterenberg@yandex.ru)
- ШУМАКОВ Павел Петрович кандидат технических наук, заведующий кафедрой теории электрических цепей и связи Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, [shumackov\\_pp@sut.ru](mailto:shumackov_pp@sut.ru)

- ЮШНИКОВ кандидат технических наук, доцент кафедры  
Сергей Иванович радиоэлектроники Военного института (военно-морской  
политехнический) ВУНЦ ВМФ «Военно-морская  
академия», [syushnikov@mail.ru](mailto:syushnikov@mail.ru)
- ЯКУШЕНКО кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры  
Сергей Алексеевич военных систем космической, радиорелейной,  
тропосферной связи и навигации Военной академии  
связи имени Маршала Советского Союза  
С. М. Буденного, [was16@mail.ru](mailto:was16@mail.ru)
- ЯХУНКИНА студентка группы ИКТВ-34 Санкт-Петербургского  
Анна Александровна государственного университета телекоммуникаций  
им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, [yakhunkina95@mail.ru](mailto:yakhunkina95@mail.ru)

## АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Аванесов М. Ю. **4, 277**  
Александров А. М. **27**  
Александров И. В. **31**  
Александрова А. В. **282**  
Алимбаев А. С. **35**  
Аль-Амери Х. А. **39**  
Аль-Одхари А. Х. **44**  
Аль-Осаими Х. А. М. **49, 54**  
Ананьев А. В. **286**  
Андреев Р. А. **59**  
Андропов А. В. **62**  
Аникин В. А. **66**  
Антипин Б. М. **31**  
Антропов Д. В. **291**  
Арсентьева А. В. **296**  
Арсентьева Е. В. **296**  
Бабаев Н. В. **59**  
Бабин Н. Н. **69**  
Багиров Р. В. **74**  
Басулин Д. В. **301**  
Бахтурин А. А. **77**  
Башмаков П. А. **82, 86**  
Безбородова А. С. **305**  
Белова Е. В. **83**  
Беляев С. В. **309**  
Беспальный Е. А. **314, 318**  
Боброва Е. В. **59**  
Богачев А. В. **49**  
Богданова Ю. Н. **322**  
Бойко А. П. **327**  
Борисов Г. Н. **97**  
Борисов Е. Г. **104, 108**  
Бурлаков А. А. **332**  
Бучатский А. Н. **83, 112**  
Ванюгин Д. С. **314**  
Васильев Е. Ю. **116**  
Величко В. М. **337**  
Виноградов Е. М. **120**  
Волков В. Ю. **77**  
Воловикова В. С. **291**  
Волокобинский Е. М. **125**  
Воробьев О. В. **128**  
Вылегжанин А. Н. **133**  
Гавриш Р. С. **66**  
Гель В. Э. **340**  
Гирш В. А. **344**  
Глушаков Р. И. **8**  
Гоголь А. А. **138**  
Голод О. С. **104**  
Горай И. И. **322**  
Горбачева М. А. **349**  
Гордийчук Р. В. **353, 356, 360**  
Греков К. Б. **363**  
Григорян В. М. **367**  
Гриднев В. А. **372**  
Гринёва А. К. **143**  
Гриценко Ю. С. **353, 356, 360**  
Гришанов В. Г. **377**  
Груздева Н. А. **54**  
Губская О. А. **382**  
Гуревич В. Э. **148, 154, 159**  
Данилович О. С. **69**  
Дворовой М. О. **386**  
Девяткин Д. В. **154**  
Дёшина Н. О. **163, 169**  
Дробяскин А. Н. **291, 332, 391, 395, 401**  
Дукельский К. В. **174**  
Дунаев К. В. **403**  
Дунаева А. А. **353, 356, 360**  
Евстафьева Я. В. **83**  
Егоров С. Г. **104, 159**  
Жадан О. П. **407, 411**  
Жиров В. А. **179**  
Жуковский И. И. **143**  
Журавлев Д. А. **322, 327, 403**  
Зайцев С. Г. **179**  
Заманов А. С. **415**  
Иванов В. Г. **425**  
Иванов В. К. **430, 435**  
Иванов Д. А. **420**  
Иванов С. А. **188**  
Иванова Е. В. **438**  
Исупова Е. А. **82**  
Кажан В. М. **349**  
Казакевич Е. В. **191**  
Калмыков Д. А. **314, 318, 443**

- Капралов Д. Д. **82, 86, 184**  
Карабанова Т. Н. **277**  
Карнаух А. Ф. **340**  
Карпов И. Н. **188**  
Качнов А. В. **59**  
Киреев А. В. **197**  
Кирик Д. И. **62, 82, 86, 174, 184, 200, 203**  
Киричек Р. В. **8**  
Киселев К. Н. **449**  
Ковалева Т. Ю. **174, 184**  
Козлов С. В. **207**  
Колесов А. К. **214**  
Кондрашов З. К. **14**  
Коновалов Л. М. **218**  
Коробков Е. С. **452**  
Корчагин М. С. **458, 461, 465**  
Корякин Д. Д. **66, 191, 469**  
Коцыняк М. А. **420**  
Кривошей О. И. **472**  
Кривцов С. П. **301, 415, 443, 472, 478**  
Кубалова А. Р. **163, 169**  
Кузьмин С. В. **116**  
Куликов В. А. **367**  
Куликов М. В. **367**  
Куликов С. П. **112**  
Кун Н. Ю. **363**  
Купчиненко О. П. **372**  
Лазарев В. О. **223**  
Лаута О. С. **420**  
Лебеда Е. В. **228**  
Ликонцев А. Н. **233**  
Ломакова А. С. **237**  
Лубянных А. А. **349**  
Лукьянчик В. Н. **483**  
Лянгузов Д. А. **452**  
Макаров Л. М. **242**  
Мальшев А. Г. **200, 203**  
Мальшко А. В. **407**  
Манвелова Н. Е. **488**  
Манвелова Т. А. **488**  
Марченко Д. В. **407, 411**  
Марченков А. А. **344, 391, 395**  
Матвейкин Г. В. **74**  
Мельник В. Н. **483**  
Мешалкин В. А. **66**  
Мешков И. С. **386**  
Микина Н. С. **472**  
Митлаш А. Н. **108**  
Молотков Ю. А. **179**  
Мосеев В. И. **318, 483**  
Мосягин Д. Е. **493**  
Музыкантов А. Н. **305, 332, 344, 391, 395, 401**  
Мякотин А. В. **478**  
Неижмак А. В. **498**  
Нечепуренко А. П. **420**  
Овсянников С. Н. **52**  
Овчаренко А. В. **179**  
Одоевский С. М. **507**  
Орлова Л. И. **301, 478**  
Остроумов М. А. **228**  
Остроумов О. А. **228**  
Падишин С. А. **309**  
Панихидников С. А. **309, 425, 430, 438, 488, 513**  
Панков Р. Н. **425**  
Пантюхин О. И. **493, 502**  
Парицкая Д. А. **214**  
Петров А. А. **277**  
Пирмагомедов Р. Я. **8**  
Поддубный С. С. **108**  
Подольский Д. А. **245**  
Позняк В. Ю. **415**  
Покровская В. И. **250**  
Понамарев Н. В. **27**  
Понамарев М. П. **469**  
Присяжнюк А. С. **4**  
Присяжнюк С. П. **4**  
Протасеня С. В. **242**  
Пустарнакова Ю. И. **174**  
Репьев И. Н. **314, 318**  
Рогозинский Г. Г. **245**  
Русин С. В. **237**  
Рыбаков А. И. **128**  
Рыжикова Т. А. **163, 169**  
Рыжков А. Е. **49, 54, 223**  
Савенкова Ю. В. **237**  
Сагдеев А. К. **282, 337, 458, 461, 465, 518**  
Сазонов В. В. **493**  
Сакова Н. В. **430, 513**  
Сальников Д. В. **386**  
Самаркин Д. С. **322, 327, 382, 403**  
Сафронов В. А. **415**  
Сахаров Д. В. **21**  
Севостьянова Н. И. **282, 337, 518**  
Седунова И. Д. **327**  
Сидоренко Е. Н. **518**  
Скакун А. А. **21**

Снежко В. К. **452**  
Соколов А. С. **403**  
Спирин А. Д. **31**  
Спирина Е. А. **207**  
Стариков В. В. **253**  
Стахеев И. Г. **522, 527**  
Стахеев К. И. **305**  
Степанов А. Б. **143**  
Степутин А. Н. **39**  
Стурман В. И. **435**  
Сунгатуллин Э. Н. **258**  
Татаренков Д. А. **263**  
Тевс О. П. **443**  
Титов В. С. **493**  
Толмачева А. И. **382, 522, 527**  
Туманова Е. И. **138**  
Тумашов А. В. **97**  
Удальцов А. А. **425**  
Украинский О. В. **27**  
Усс В. С. **35**

Устименко В. М. **258**  
Федоров С. Л. **267**  
Фокин Г. А. **271**  
Фролова Ю. А. **349, 458, 461, 465**  
Харьков О. И. **154**  
Хмелевской В. П. **502**  
Хмелляр Н. А. **449**  
Хоборова В. П. **507**  
Чеботарёв В. И. **301, 472, 478**  
Черенков В. Е. **340**  
Шахобиддинов А. Ш. **233**  
Шевченко В. В. **237**  
Шинкарев С. А. **296, 449**  
Широков И. С. **191, 469**  
Шовдра В. В. **191, 469**  
Штеренберг И. Г. **305**  
Шумаков П. П. **35**  
Юшников С. И. **372**  
Якушенко С. А. **386, 452**  
Яхункина А. А. **382, 522, 525**