

**ПРЕДСЕДАТЕЛЬ РЕДАКЦИОННОГО СОВЕТА
– ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР ЖУРНАЛА:**

Николашин Ю.Л. Генеральный директор ПАО «Интелтех». Кандидат технических наук

ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА ЖУРНАЛА:

Кулешов И.А. Заместитель генерального директора по научной работе ПАО «Интелтех». Д.т.н., доцент

ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА ЖУРНАЛА

(Председатель редколлегии):

Будко П.А. Ученый секретарь ПАО «Интелтех». Д.т.н., профессор

ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОГО СОВЕТА:

Катанович А.А. Главный научный сотрудник НИИ ОСИС ВМФ ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия имени Н.Г. Кузнецова». Д.т.н., профессор. Заслуженный изобретатель РФ

Кузичкин А.В. Заместитель генерального директора Научно-исследовательского института телевидения по информационным технологиям.

Курносов В.И. Д.т.н., профессор. Заслуженный деятель науки РФ. Заместитель генерального директора по научной работе АО «НИИ «Рубин». Д.т.н., профессор.

Лычагин Н.И. Заслуженный работник высшей школы РФ. Советник генерального конструктора ПАО «Интелтех». Д.т.н., профессор

Мирошников В.И. Генеральный конструктор ПАО «Интелтех».

Половинкин В.Н. Д.т.н., профессор. Заслуженный деятель науки РФ. Научный руководитель ФГУП «Крыловский государственный научный центр». Д.т.н., профессор. Заслуженный деятель науки РФ

Присяжнюк С.П. Генеральный директор ЗАО «Институт телекоммуникаций». Д.т.н., профессор. Заслуженный деятель науки РФ

Чуднов А.М. Профессор кафедры Военной академии связи имени Маршала Советского Союза С.М. Буденного. Д.т.н., профессор

Яшин А.И. Заместитель генерального директора – директор научно-технического центра ПАО «Интелтех». Д.т.н., профессор. Заслуженный деятель науки РФ

ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ:

Бобровский В.И. ПАО «Интелтех» (г. Санкт-Петербург). Д.т.н., доцент

Винограденко А.М. Военная академия связи (г. Санкт-Петербург). К.т.н., доцент

Габриэлян Д.Д. ФНПЦ «Ростовский-на-Дону научно-исследовательский институт радиосвязи» (г. Ростов-на-Дону). Д.т.н., профессор

Дорогов А.Ю. ПАО «Интелтех» (г. Санкт-Петербург). Д.т.н., доцент

Жуков Г.А. ПАО «Интелтех» (г. Санкт-Петербург). К.т.н., старший научный сотрудник

Легков К.Е. Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского (г. Санкт-Петербург). К.т.н., доцент

Липатников В.А. Военная академия связи (г. Санкт-Петербург). Д.т.н., профессор

Макаренко С.И. Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» имени В.И. Ульянова (Ленина) (г. Санкт-Петербург). Д.т.н., доцент

Маковий В.А. АО «Концерн «Созвездие» (г. Воронеж). Д.т.н., старший научный сотрудник

Минаков В.Ф. Санкт-Петербургский государственный экономический университет (г. Санкт-Петербург). Д.т.н., профессор

Михайлов Р.Л. Череповецкое высшее военное инженерное училище радиоэлектроники (г. Череповец). К.т.н. Д.т.н., профессор

Одоевский С.М. Северо-Кавказский федеральный университет (г. Ставрополь). Д.т.н., профессор

Пашинцев В.П. ПАО «Интелтех» (г. Санкт-Петербург). Д.т.н., профессор

Федоренко В.В. Северо-Кавказский федеральный университет (г. Ставрополь). Д.т.н., профессор

Финько О.А. Краснодарское высшее военное училище имени генерала армии С.М. Штеменко (г. Краснодар). Д.т.н., профессор

Цимбал В.А. Филиал Военной академии РВСН имени Петра Великого (г. Серпухов). Д.т.н., профессор

Семенов С.С. Военная академия связи (г. Санкт-Петербург). Д.т.н., профессор

Саенко И.Б. Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации Российской Академии Наук (г. Санкт-Петербург). Д.т.н., профессор

Стародубцев Ю.И. Военная академия связи (г. Санкт-Петербург). Д.т.н., профессор

**EDITORIAL BOARD CHAIRMAN
– JOURNAL EDITOR-IN-CHIEF:**

Nikolashin Y.L. General Director of PJSC «Inteltech». Doctorate of Technical Sciences

JOURNAL DEPUTY EDITOR-IN-CHIEF:

Kuleshov I.A. Deputy General Director for Scientific Work of PJSC «Inteltech». Doctor of Technical Sciences, Associate Professor

JOURNAL DEPUTY EDITOR-IN-CHIEF

(Editorial Board Chairman):

Budko P.A. Academic Secretary of PJSC «Inteltech». Doctor of Technical Sciences, Professor

EDITORIAL COUNCIL MEMBERS:

Katanovich A.A. Chief Research Officer of the ISIS Institute of the Navy WUNCC Navy "N.G. Kuznetsov Naval Academy". Doctor of Technical Sciences, professor. Honored Inventor of the Russian Federation

Kuzichkin A.V. Deputy Director General of Information technology television Research Institute. Doctor of Technical Sciences, Professor. Honored Science Worker of the Russian Federation.

Kurnosov V.I. Director General in scientific work of JSC "NII" Rubin". Doctor of Technical Sciences, Professor. Higher School Honored Employee of the Russian Federation

Lychagin N.I. General Designer Advisor of PJSC «Inteltech». Doctor of Technical Sciences, Professor

Miroshnikov V.I. General Designer of PJSC «Inteltech». Doctor of Technical Sciences, Professor. Science Honored Worker of the Russian Federation

Polovinkin V.N. Scientific Head of FSUE Krylovsky State Scientific Center, Doctor of Technical Sciences, Professor. Honored Worker of Science of the Russian Federation

Prisyazhnik S.P. Director General of CJSC Institute telecommunications. Doctor of Technical Sciences, professor. Science Honored Worker of the Russian Federation

Chudnov A.M. Department Professor of the Communications Military Academy named after Marshal of the Soviet Union S.M. Budennyi. Doctor of Technical Sciences, Professor

Yashin A.I. Deputy Director General – Director of Scientific and Technical Center of PJSC «Inteltech». Doctor of Technical Sciences, Professor. Science Honored Worker of the Russian Federation

EDITORIAL BOARD MEMBERS:

Bobrovskiy V.I. PJSC "Inteltech" (St. Petersburg). Doctor of Technical Sciences, Associate Professor

Vinogradenko A.M. Military Academy of Communications (St. Petersburg) Doctorate of Technical Sciences, Associate Professor

Gabrielyan D.D. FNPC "Rostov-on-Don Scientific Radio Research Institute" (Rostov-On-Don). Doctorate of Technical Sciences, Associate Professor

Dorogov A.Y. PJSC "Inteltech" (St. Petersburg). Doctor of Technical Sciences, Associate Professor

Zhukov G.A. PJSC "Inteltech" (St. Petersburg). Doctorate of Technical Sciences, Senior Researcher

Legkov C.E. Military Space Academy of A.F. Mozhaiskiy (St. Petersburg). Doctorate of Technical Sciences, Associate Professor

Lipatnikov V.A. Military Academy of Communications (St. Petersburg). Doctor of Technical Sciences, Professor

Makarenko S.I. Saint Petersburg State LETI Electrotechnical University of V.I. Ulyanov (Lenin) (St. Petersburg). Doctor of Technical Sciences, Associate Professor

Makoviy V.A. Concern Constellation JSC (Voronezh). Doctor of Technical Sciences. Senior Researcher

Minakov V.F. St. Petersburg State Economic University (St. Petersburg). Doctor of Technical Sciences, Professor

Mikhailov R.L. Cherepovets Higher Military Engineering School of Radio Electronics (Cherepovets). Doctorate of Technical Sciences

Odoevskiy S.M. Military Academy of Communications (St. Petersburg). Doctor of Technical Sciences, Professor

Pashintsev V.P. North Caucasus Federal University (Stavropol). Doctor of Technical Sciences, Professor

Putilin A.N. PJSC "Inteltech" (St. Petersburg). Doctor of Technical Sciences, Professor

Fedorenko V.V. North Caucasus Federal University. (Stavropol). Doctor of Technical Sciences, professor

Finko O.A. Krasnodar Higher Military School named after General of the Army S.M. Stemenko (Krasnodar). Doctor of Technical Sciences, Professor

Tsybmal V.A. Branch of the Great Petr RVSN Military Academy (Serpukhov). Doctor of Technical Sciences, Professor

Semenov S.S. Military Academy of Communications (St. Petersburg). Doctor of Technical Sciences, Professor

Saenko I.B. Saint Petersburg Institute of Informatics and Automation of the Sciences Russian Academy (St. Petersburg). Doctor of Technical Sciences, Professor

Starodubtsev Y.I. Military Academy of Communications (St. Petersburg). Doctor of Technical Sciences, Professor

РЕДАКЦИЯ: Верстка принт-макета: **Мамончикова А.С.**
Дизайн обложки: **Шаутин Д.В.**
Поддержка сетевой версии журнала: **Лебедев Д.А.**
Секретарь редакции: **Михайлова Н.В.**

АДРЕС РЕДАКЦИИ: 197342. Россия. г. Санкт-Петербург, ул. Кантемировская, дом 8,
Телефон: +7(812) 542-90-54; +7(812) 448-95-97; +7(812) 448-96-84
Факс: +7(812) 542-18-49. E-mail: intelteh@inteltech.ru.
Официальный сайт: www.inteltech.ru; www.mce-journal.ru



Научно-технический журнал «Техника средств связи» – это рецензируемое научное издание, в котором публикуются результаты научных исследований специалистов в области современных инфокоммуникационных технологий и автоматизированных систем управления, средств связи и информационной безопасности. Журнал является правопреемником издававшихся с 1959 года Министерством промышленности средств связи СССР всесоюзных журналов «Вопросы радиоэлектроники. Серия: Техника проводной связи» и «Вопросы специальной радиоэлектроники. Серия: Техника проводной связи». С 1975 года журнал издается под названием «Техника средств связи». Учредитель и издатель журнала: Публичное акционерное общество «Информационные телекоммуникационные технологии» (ПАО «Интелтех»). Адрес учредителя и издателя журнала: 197342, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Кантемировская, д. 8.

Периодичность выхода журнала 4 номера в год.

Публикация в журнале является научным печатным трудом. Основное содержание издания представляют собой научные статьи и научные обзоры.

Информация предназначена для детей старше 12 лет.

Журнал зарегистрирован как сетевое и печатное издание в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор).

Свидетельства о регистрации средств массовой информации: ПИ № ФС 77 – 80135 и ЭЛ № ФС 77 – 80136 от 31.12.2020 г.

ISSN (print): 2782-2141

ISSN (online): 2782-2133

СОДЕРЖАНИЕ

АНАЛИЗ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ПЕРСПЕКТИВ РАЗВИТИЯ ТЕХНИКИ СРЕДСТВ СВЯЗИ

Николашин Ю.Л., Будко П.А., Жуков Г.А., Угрик Л.Н.

Новое направление создания помехоустойчивых радиолоний декаметрового диапазона волн.....2
СИСТЕМЫ СВЯЗИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ

Путилин А.Н., Шапала В.С.

Помехоустойчивость трехмерной симплекс решетки.....27

Хвостунов Ю.С.

Децентрализованная система управления работой декаметровой радиосетью.....35

Щукин А.Н., Солозобов С.А.

Квадратурный модулятор с модулем выделения фазы.....49

СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Моисеев А.А., Киселев А.А.

Оценка основных свойств применения мобильных аппаратных связи.....55

Давыдчик В.В., Можяева А.Э.

Подход к разработке показателей для оценки устойчивости функционирования систем управления морскими объектами при деструктивном воздействии.....66

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

Аллакин В.В.

Формирование сервера мониторинга функциональной безопасности информационно-телекоммуникационной сети общего пользования на основе оценки SRE-метрик.....77

Будко Н.П.

Сокращение объема измерительной информации на основе интеллектуального подхода к построению подсистемы мониторинга информационно-телекоммуникационной системы.....86

Информация о конкурсе.....98

CONTENTS

ANALYSIS OF NEW TECHNOLOGIES AND PROSPECTS OF COMMUNICATION TECHNOLOGY DEVELOPMENT

Nikolashin Yu.L., Budko P.A., Zhukov G.A., Ugrik L.N.

A new direction for creating noise-resistant radio lines in the decameter wave range.....2
COMMUNICATION AND TELECOMMUNICATION SYSTEMS

Putilin A.N., Shaptala V.S.

Bit error rate of a three-dimensional simplex trellis.....27

Khvostunov Yu.S.

A decentralized system for managing the operation of the HF radio network.....35

Shchukin A.N., Solozobov S.A.

Quadrature modulator with phase allotment module.....49

CONTROL SYSTEMS

Moiseev A.A., Kiselev A.A.

Evaluation of basic properties of mobile hardware communication application.....55

Davydchik V.V., Mozhaeva A.E.

Approach to the development of indicators for assessing the control systems functioning stability of the offshore facility under destructive impact.....66

INTELLIGENT INFORMATION SYSTEMS

Allakin V.V.

Formation of a server for monitoring the functional security of a public information and telecommunications network based on the evaluation of SRE metrics.....77

Budko N.P.

Reducing the amount of measurement information based on an intelligent approach to build a monitoring subsystem for an information and telecommunication system.....86

Information about the competition.....98

Рубрики журнала: Анализ новых технологий и перспектив развития техники средств связи • Системы управления • Передача, прием и обработка сигналов • Системы связи и телекоммуникации • Перспективные исследования • Вычислительные системы • Информационные процессы и технологии. Сбор, хранение и обработка информации • Моделирование сложных организационно-технических систем • Вопросы обеспечения информационной безопасности • Интеллектуальные информационные системы • Робототехнические системы • Электронные и радиотехнические системы • Объекты интеллектуальной собственности и инновационные технологии в области разработки средств телекоммуникаций

**АНАЛИЗ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ПЕРСПЕКТИВ РАЗВИТИЯ
ТЕХНИКИ СРЕДСТВ СВЯЗИ**

УДК 621.61; 623.61

**Новое направление создания помехоустойчивых радиолиний
декаметрового диапазона волн**

Николашин Ю.Л., Будко П.А., Жуков Г.А., Угрик Л.Н.

Аннотация. *Постановка задачи:* в статье предложены методы доведения данных до удаленных объектов с использованием параллельной передачи сверхузкополосных сигналов в режиме перестройки рабочих частот по псевдослучайному закону. **Цель работы:** повышение эффективности функционирования радиолиний декаметрового диапазона волн. **Используемые методы:** методы теории потенциальной помехоустойчивости, методы проектирования многоканальных модемов (многоканальных приемо-передающих технических средств), технологии построения перепрограммируемых радиоустройств и когнитивных радиосистем, оптимальные алгоритмы и методики совместной обработки сигналов при их параллельном приёме, методы снижения пик-фактора сигнала в декаметровых радиоканалах, методы кодирования и декодирования информации. **Новизна:** разработка методов обнаружения и приёма сверхузкополосных сигналов, включая приём в условиях случайных и преднамеренных помех; введение понятийного аппарата класса сверхузкополосных радиосигналов, частотная полоса которых существенно меньше частотной полосы доплеровского смещения в ионосферных слоях при дальнем распространении радиоволн. **Результаты:** проведен анализ применимости широкополосных и узкополосных сигналов, а также дана оценка их помехоустойчивости по сравнению с предлагаемыми сверхузкополосными радиосигналами. Предложен метод устойчивого доведения коротких блоков данных по каналам с переменными параметрами, к которым относятся радиоканалы декаметрового диапазона волн. Данный метод включает алгоритм параллельной передачи сверхузкополосных сигналов в режиме перестройки рабочих частот по псевдослучайному закону и алгоритм параллельного приёма и демодуляции бит сообщения с учетом доплеровского смещения рабочей частоты в точке приёма. Приведена схемная реализация радиопередающего и радиоприёмного комплексов формируемой радиолинии. Рассмотрены особенности приёма сверхузкополосных сигналов при различных видах модуляции в условиях случайных и преднамеренных помех. **Практическая значимость:** предложена структура радиолинии управления с расширением диапазона рабочих частот в область ультракоротких волн, позволяющая обеспечить приём в условиях сложной помеховой обстановки при любом реальном значении оптимальной рабочей частоты, в том числе и при аномальной ионизации ионосфере на высоких арктических широтах. Изложенные в статье подходы и принципы построения радиосистем позволяют реализовать низкоэнергетические радиолинии нового класса, построенные на основе передачи сообщений методом параллельного побитного излучения сверхузкополосных сигналов.

Ключевые слова: широкополосные сигналы, узкополосные сигналы, многоканальное возбуждающее устройство, многоканальное радиоприёмное устройство, каскадные схемы кодирования, эффект Доплера в ионосфере.

Введение

Одной из важных задач при выполнении морскими объектами (МО) миссий, связанных с глобальным удалением от береговых пунктов управления (ПУ), является организация устойчивого обмена данными. Как правило, эта задача решается путём использования спутниковых, сверхдлинноволновых и декаметровых (ДКМ) каналов передачи информации, каждый из которых имеет определенные преимущества и недостатки в зависимости от конкретной обстановки и условий применения [1, 2].

Вместе с тем, как показывает анализ отечественных и зарубежных материалов, в ряде случаев ДКМ радиосвязь оказывается безальтернативной при доведении команд от ПУ до

исполнительных звеньев [1-5]. В США и странах НАТО развитие ДКМ связи рассматривают в качестве важного фактора обеспечения надежного и непрерывного управления войсками в условиях ведения сетцентрической войны, проводя при этом не только разработку новых технических средств радиосвязи, но также и более совершенных систем радиоэлектронной борьбы (РЭБ). Исходя из этого, а также учитывая значительную протяженность границ Российской Федерации, наличие национальных интересов в морской и океанской зонах и тенденцию по необходимости повышения требований к достоверности, скрытности и своевременности доведения команд управления (донесений) в звене «берег-море-берег», представляется актуальным поиск путей повышения устойчивости связи при использовании радиолиний (РЛ) диапазона декаметровых волн (ДКМВ).

Основные элементы декаметрового тракта связи в системе обмена данными

На рис. 1 представлена укрупненная структурная схема автоматизированной системы обмена данными (АСОД) с морскими объектами с использованием радиолиний декаметрового диапазона радиоволн [2, 6, 7].

Как показывают расчёты и результаты экспериментальных исследований, комплексное использование в АСОД территориально-разнесённых приёмных (ПРЦ) и передающих (ПДРЦ) береговых радиостанций, частотно-разнесённой передачи сообщений, применение современных радиопередающих устройств (РПДУ) и передающих антенно-фидерных систем, многоканальных SDR радиоприёмных (РПУ) и возбуждающих устройств (ВУ), кольцевых фазированных антенных решёток (КФАР) с цифровым формированием «веера» парциальных диаграмм направленности (ПДН), оптимальных алгоритмов совместной обработки копий сообщений [8-10] позволяют обеспечить энергетический контакт с удалёнными МО даже в условиях наличия замираний сигнала из-за свойств ДКМ канала связи, а также действия случайных и преднамеренных помех [11]. Вместе с тем, реализация современных требований к вероятностно-временным характеристикам по доведению команд управления до морских объектов и приёму от них донесений не может быть обеспечена без внедрения новых методов формирования и обработки сообщений в радиолиниях АСОД.

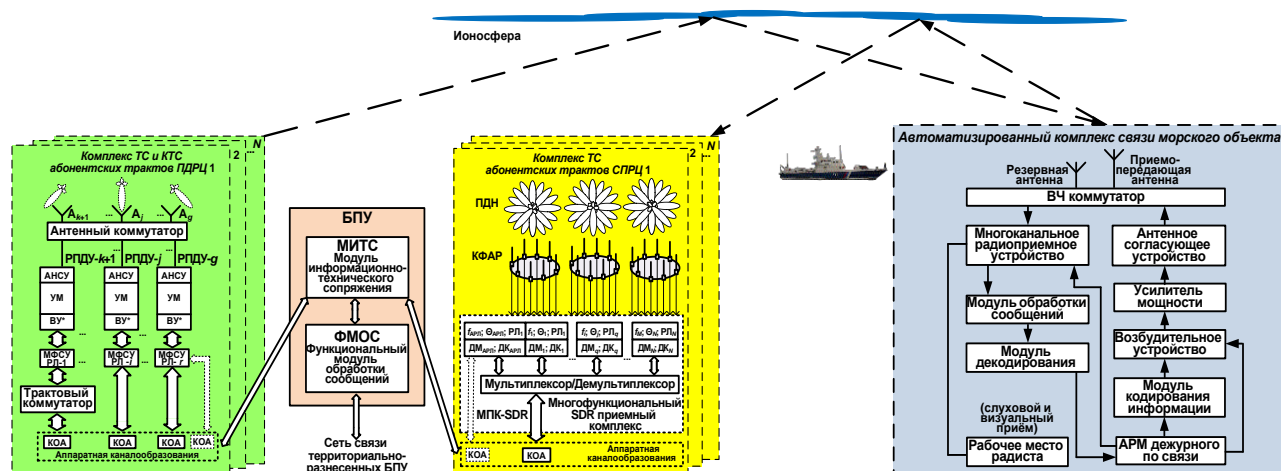


Рис. 1. Структурная схема автоматизированной системы обмена данными с морскими объектами

Одним из направлений по реализации устойчивого обмена данными между удалёнными абонентами является применение адаптивных радиолиний (АРЛ) [12-14]. Использование в АРЛ вызывных сигналов, в том числе в качестве сигналов зондирования ионосферы для определения оптимальных рабочих частот в реальном масштабе времени, позволяет оптимизировать структуру построения магистральных ДКМ каналов связи с обеспечением заданной вероятности

приёма информации, однако при повышенных требованиях по скрытности обмена данными между ПУ и МО, как правило, применяются симплексные радиолинии.

В настоящее время при построении таких РЛ их основным режимом работы является передача с использованием перестройки рабочих частот по псевдослучайному закону (ППРЧ) [15, 16].

Реализация требований по своевременности доведения информации в тракте решается путем использования высокоскоростных радиоканалов. Существуют два основных направления по идеологии их реализации: «последовательные» и «параллельные» модемы. Этапы эволюции этих направлений и перспективы их развития достаточно полно изложены в статье Ю. В. Романова [17]. Тем не менее теоретические споры, в том числе на форумах сети Интернет, о том, какой тип модема для ДКМ канала лучше, не завершились и поэтому, с учётом, значительных успехов в SDR технологиях, представляется целесообразным реализовать «сдвоенный» модем с последовательным и параллельным режимами работы и оценить эффективность их совместного функционирования по результатам трассовых испытаний. Положительный эффект от объединения различных методов обработки информации были практически проверены в ходе сравнительных трассовых испытаний системы когерентного и весового мажоритарного сложения при пространственно-разнесенном приёме [18, 19]. Схема проведения и результаты испытаний приведены на рис. 2 и в табл. 1 соответственно.



Рис. 2. Схема проведения сравнительных трассовых испытаний

Таблица 1 – Результаты сравнительных трассовых испытаний

	«Опорный» канал	Когератор	ПЗМС	Совместная обработка
Вероятность безошибочного приёма сообщения (200 зн.)	0,52	0,81	0,85	0,93

Незначительный «проигрыш» «когерентного» сложения обусловлен наличием быстрых «замирания» сигнала в ДКМ канале связи с последующим изменением фазовых соотношений при возрастании сигнала, требующих перестройки комплексных весовых коэффициентов «когератора». В то же время, подключение выхода «когератора» в качестве одного из входов блока позначного мажоритарного сложения (ПЗМС), как видно из табл. 1, позволило сократить вероятность неприёма сообщения более чем в 2 раза ($K_{и} = 0,15/0,07$).

Помехоустойчивость декаметровых радиолиний с широкополосными сигналами

Нестационарность ДКМ канала связи, также как и для когерентного сложения, не позволила получить ожидаемый теоретический выигрыш в случае применения модема с широкополосным (шумоподобным, сложным) сигналом (ШПС).

Как известно, при оптимальной обработке сигнала в условиях действия «белого» шума (корреляционный приём или согласованная фильтрация) помехоустойчивость связи определяется значением параметра [20]

$$h^2 = \frac{E}{\sigma^2} = \frac{P_c \cdot T}{\sigma^2} = \frac{P_c \cdot T}{\sigma^2} \cdot \frac{F}{F} = \frac{P_c}{P_{ш}} \cdot FT = \frac{P_c}{P_{ш}} \cdot B, \quad (1)$$

где E , P_c , T и F – энергия, мощность, длительность и частотная полоса сигнала соответственно; $P_{ш}$ – мощность шума в частотной полосе сигнала; ν^2 – спектральная плотность мощности белого шума.

Независимость значения h^2 от частотной полосы F , занимаемой сигналом, очевидна даже из приведённых простых математических выкладок, см. подчеркнутое равенство в выражении (1).

Как отмечал Л.М. Финк «... не следует, однако думать, что применение широкополосных сигналов (сигналов с большой базой) позволит уменьшить мощность передатчика при заданной верности приёма...», «... уменьшить вероятность ошибки при заданной мощности передатчика можно лишь ... путём уменьшения ν^2 , либо, наконец, путем увеличения T (замедляя передачу)...» [20]. То есть увеличение базы сигнала B за счёт увеличения полосы F не влияет на помехоустойчивость в условиях действия только «белого» шума.

Вместе с тем, расширение частотной полосы, занимаемой сигналом, в ряде случаев имеет значительные преимущества перед «узкополосными» сигналами ($B \approx 1 \div 2$) в том числе по такому важному параметру (особенно для направления «море-берег»), как скрытность передачи [21-23]. Учитывая это, в конце 70-х начале 80-х годов XX века были приведены сравнительные трассовые испытания модема с ШПС сигналом и штатной «узкополосной» радиолинии с привлечением действующего пункта радиоконтроля. Опытный образец ДКМ радиолинии с ШПС сигналом на базе кода Фрэнка с $B \approx 80$ (руководитель разработки профессор СПбГУ Цикин И.А. [24]) в ходе испытаний позволил сделать основные выводы по возможности использования широкополосных сигналов в ДКМ канале связи:

1) Увеличение базы сигнала за счёт расширения полосы F ограничено из-за нарушения частотно-фазовых соотношений в принимаемом сигнале после отражения в ионосфере, и, как следствие, ведет к снижению эффективности функционирования согласованного фильтра.

2) Увеличение базы сигнала за счёт повышения длительности элемента сообщения приводит к нарушению заданных требований на время доведения команды управления.

3) При ограниченной базе сигнала (с учётом пунктов 1 и 2) из-за глубоких селективных замираний используемая мощность РПДУ, обеспечивающая необходимое качество приёма сообщения, приводит к снижению скрытности передачи и, как следствие, к высокой вероятности обнаружения излучения пунктом радиоконтроля.

4) Тем не менее, следует отметить, что для диапазона частот свыше $150 \div 300$ МГц широкополосные сигналы получили большое распространение в радиолокации и связи (*Wi-Fi*, *WiMax*, *Zig Bee* и др.) [25].

Применение многоканальных SDR радиоприемных и возбуждающих устройств для реализации новых радиолиний

Режим работы с перестройкой рабочих частот по псевдослучайному закону в настоящее время реализуется практически во всех вновь создаваемых радиостанциях и радиолиниях ДКМВ-УКВ диапазона. При этом передача элементов сообщения осуществляется последовательно во времени (рис. 3).

Для повышения вероятности подавления обнаруженного сеанса связи при времени передачи одного блока сообщения меньше времени реакции «постановщиков сосредоточенных помех» (τ_p), в ряде случаев ими могут быть применены широкополосные заградительные помехи.

Очевидно, что если всё сообщение будет передано за время $T_{бит} < \tau_p$ (т. е. меньше чем время реакции средств постановки помех), то даже при обнаружении начала передачи вероятность срыва сеанса связи будет пренебрежимо мала (см. рис. 4), но для реализации такого режима необходимо использование многоканальных приемо-передающих технических средств.

Существующий прогресс в SDR технологии уже в настоящее время позволяет реализовать «мегаканальные» радиоприемные (РПУ) и возбуждающие устройства (ВУ)

[8, 26]. Так на рис. 5 продемонстрирован фрагмент спектрограммы функционирования многоканальной ДКМ радиолинии в режиме передачи изображений (разработка группы специалистов Военной академии связи и ООО «АДК», Санкт-Петербург).

Вместе с тем, для обеспечения глобальной дальности связи с сохранением заданной вероятности ошибки на бит сообщения для режима, представленного на рис. 4, необходимо сохранить мощность излучения для каждого бита такую же, как для режима, отображенного на рис. 3, т. е. если мощность излучения передатчика была равна 1 кВт ($P_1 = 1$ кВт), то при параллельной передаче сообщения объемом $N = 1000$ бит потребуется передатчик (с учетом пик-фактора многочастотного сигнала [27]) с мощностью $P_N > 1000$ кВт, что практически трудновыполнимо и нецелесообразно.

Однако, если для параллельной передачи сигналов использовать передатчик с $P_1 \approx 1$ кВт, то в этом случае мощность излучения каждого бита не превысит $P_{\text{бит}} = P_1/N$, т. е. для $N = 1000$, $P_{\text{бит}} \approx 1$ Вт.

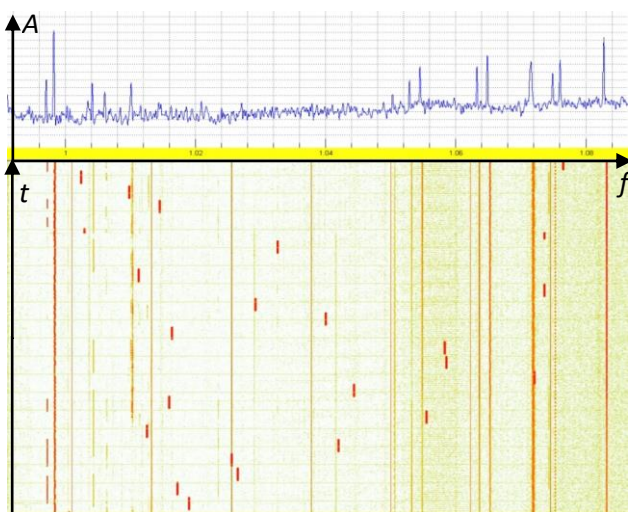


Рис. 3. Спектрограмма передачи сообщения по группам двоичных элементов в режиме ППРЧ



Рис. 4. Спектрограмма параллельной передачи блока сообщения в режиме ППРЧ

В этом случае для сохранения помехоустойчивости связи теоретически необходимо выполнение условия для каждого передаваемого бита сообщения $h_{\text{паралл.}}^2 \geq h_{\text{послед.}}^2$, т. е. в соответствии с выражением (1)

$$\frac{P_{\text{бит}} T_{\text{бит}}}{\sqrt{2}} \geq \frac{P_1 \tau}{\sqrt{2}}, \quad (2)$$

откуда $T_{\text{бит}} \geq N \tau$.

Следовательно, для случая $\tau \approx 5$ мс и $N = 1000$ длительность каждого параллельно передаваемого бита (а значит и всего сообщения) составит примерно $T_{\text{бит}} \approx 5$ с. Поскольку в этом случае $T_{\text{бит}} \geq N \tau$, то для обеспечения помехозащищенности передачи сообщения необходимо реализовать его энергетическую скрытность. Как было показано выше, в ДКМ канале связи широкополосный сигнал не в полной мере обеспечивает указанное требование. Рассмотрим скрытность узкополосного сигнала. Как правило, действующие «узкополосные» радиолинии в зависимости от скорости передачи занимают частотный участок от 20 ÷ 30 Гц (низкоскоростные ДКМ радиолинии) до 1,2 ÷ 1,5 кГц (так называемые СБД радиолинии).

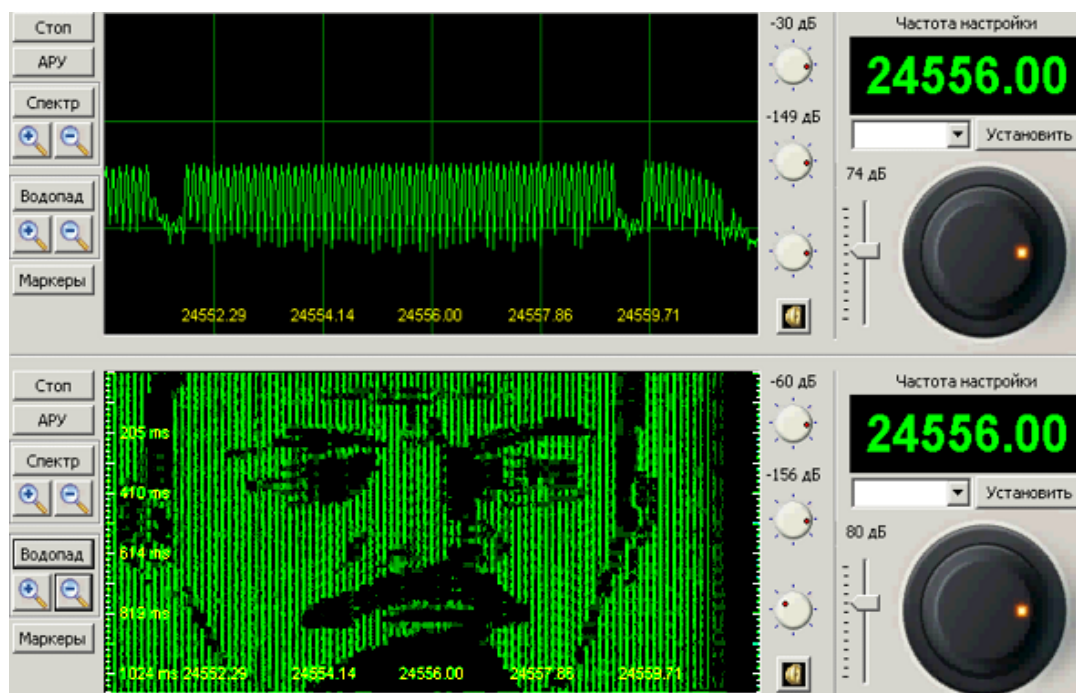


Рис. 5. Фрагмент спектрограммы функционирования многоканальной ДКМ радиолинии в режиме передачи изображений

Если реализуется радиолиния с параллельной передачей элементов сообщения и заданное время проведения сеанса реально может составлять 1-2 минуты для передачи 1000 бит информации, то исходя из соотношения (1), увеличив длительность передачи бита сообщения $T_{\text{бит}}$ с $\tau \approx 5$ мс до 100 с. при сохранении h^2 (а значит и вероятности правильного приема) можно уменьшить мощность излучения до $P_{\text{бит}} \approx 0,05$ Вт, при этом частотная полоса, занимаемая каждым сигналом, передаваемым в режиме ППРЧ, составит примерно $\Delta f_c \approx 0,01$ Гц.

Известно, что для энергетического обнаружителя при частотной полосе поиска больше полосы сигнала эффективность падает, а при меньшей полосе (конечно в случае нахождения сигнала в ней) практически не уменьшается. Следовательно, для обнаружения сигнала, например, с полосой $\Delta f = 10$ кГц с неизвестной частотой излучения в «дежурном» диапазоне $\Delta F = 1$ МГц теоретически потребуется не более 200 каналов параллельного поиска, а для сигнала с $\Delta f \approx 0,01$ Гц, не менее 100 000 000 каналов автоматического поиска сигнала, что оказывается проблематичным с точки зрения вычислительных ресурсов системы обнаружения.

Одним из основных факторов, определяющих минимизацию «пропуска сигнала» и «ложной тревоги» в системе обнаружения, является необходимое соотношение $K = \text{сигнал}/(\text{шум} + \text{помеха})$, определяемое исходя из поставленной системе задачи, и при $K < 1$, в случае отсутствия априорных знаний о рабочей частоте и времени начала сеанса связи работа системы обнаружения окажется неэффективной, и, наоборот, система связи будет обладать повышенной скрытностью [22].

Дополнительно необходимо подчеркнуть, что также как и для широкополосного сигнала, для узкополосного радиосигнала существует согласованный фильтр (интегратор), обеспечивающий возможность приёма сигнала, находящегося «под шумами» ($K < 1$), до окончания процесса интегрирования.

При проведении сеансов связи с временем начала излучения сигнала (а значит и всего сообщения) по псевдослучайному закону (т. е. неизвестному постороннему наблюдателю), попытка обнаружить «сверхузкополосный» сигнал приведет к потоку «ложных тревог», т. к. для

потенциального обнаружения под шумами необходимо продолжительное время находиться на значительном количестве «дежурных» частот, однако при отсутствии знания времени начала сеанса на выходах интеграторов обнаружителя уже через 10-15 секунд работы появится поток ложных «срабатываний», обусловленных «накоплением» слабых собственных частотных гармоник приёмника обнаружителя, а также побочных излучений от посторонних радиопередающих устройств.

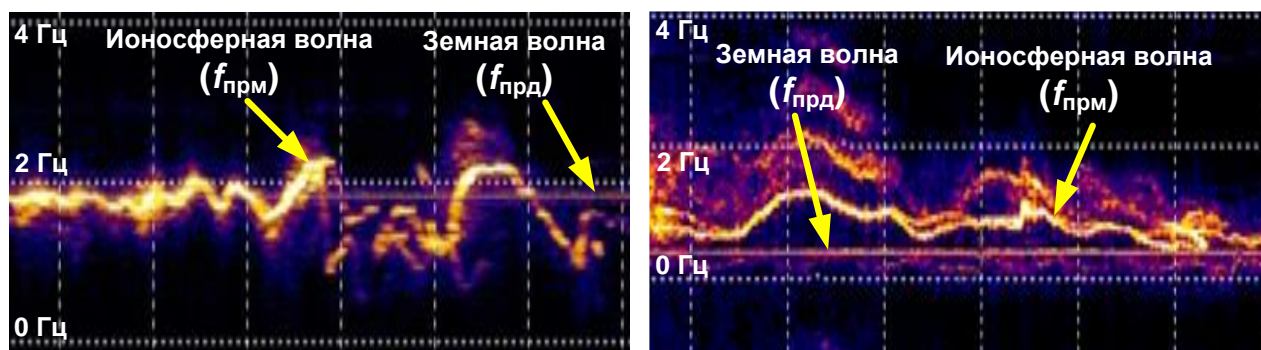
В связном приемнике в силу априорных знаний о времени начала сеанса и рабочих частотах ошибки такого рода минимизированы.

Кроме того, положительными свойствами «сверхзкополосных» сигналов при параллельной побитной передаче всего сообщения является отсутствие межсимвольной интерференции и низкие требования к точности синхронизации, что позволяет не учитывать расхождение по времени на передающем и приемном комплексах, возникающем при их значительном взаимном удалении (для радиолиний с «быстрой ППРЧ» требуется передача помехоустойчивой преамбулы для синхронизации перестройки радиопередающего устройства на пункте управления и радиоприемного устройства на подвижном объекте связи).

Одной из сложных задач, возникающих при реализации радиолинии рассмотренного вида, является учёт смещения спектра принимаемого сигнала по частоте, обусловленного спорадическим перемещением слоёв ионосферы, отражающих передаваемый сигнал (эффект Доплера).

В среднем для протяженных радиотрасс смещение составляет $\Delta f_{\text{д}} \approx \pm 1,5$ Гц (см. рис. 6 а, б), достигая в период захода и восхода Солнца значений $\Delta f_{\text{д}} \approx \pm 4$ Гц, что практически не влияет на работу штатных узкополосных радиолиний и по этой причине не учитывается.

Однако, при $\Delta f_{\text{с}} < \Delta f_{\text{д}}$ (сигналы с такой полосой $\Delta f_{\text{с}}$ будем называть «сверхзкополосными») этот эффект необходимо учитывать при реализации новой радиолинии.



а) б)
Рис. 6. Спектрограмма фрагмента узкополосного ДКМВ сигнала, принимаемого «Земной волной» и после отражения от ионосферы [28]

Оценка основных характеристик сигнальной конструкции при использовании сверхзкополосных сигналов

Возможность и эффективность применения сигналов с достаточно узкой полосой для передачи информации в декаметровом диапазоне волн практически проверялась в 1965 году специалистами «Radio Corporation of America» (фирма существовала с 1919 по 1989 год). Эксперимент проводился на однокачковой радиотрассе с использованием радиопередающего устройства с мощностью излучения $P_{\text{изл}} \approx 100$ мВт на рабочей частоте $F_{\text{изл}} \approx 15$ МГц. Из-за низкой стабильности задающих генераторов приёмного и передающего устройств разработчикам не удалось в полной мере реализовать эффект «накопления» сигнала (полоса фильтра РПУ составляла 17 Гц при длительности одного бита $\tau_{\text{бит}} \approx 20$ с),

тем не менее, в ходе испытаний было зафиксировано, что используемая технология на 40 дБ улучшает соотношение сигнал/шум по сравнению с традиционной работой в режиме «Азбуки Морзе». Вместе с тем, постоянное повышение требований к времени доставки сообщений и сложность обработки сигналов на элементной базе того времени, привело к не востребоваемости метода медленнодействующей передачи сообщений. Однако необходимо отметить, что в конце 20-го – начале 21-го века массовое внедрение средств вычислительной техники и элементной базы для цифровой обработки сигналов позволило даже в радиолюбительской практике эффективно использовать сверхузкополосные сигналы. В режиме, так называемого, сверхмедленного телеграфа (*QRSS*) радиолюбители в диапазоне частот $10,138 \div 10,140$ кГц обмениваются информацией на одно-двухскачковых радиотрассах при мощности передатчика $10 \div 100$ мВт и длительности одного бита информации до 10 сек. [29].

В настоящее время возможность реализации «мегаканальных» ВУ и РПУ позволяет создать новые сигнально-кодовые конструкции на базе сверхузкополосных сигналов, обеспечивая при этом снижение времени доведения сообщения в целом и повышение устойчивости к случайным и преднамеренным помехам.

В работе [30] была показана целесообразность реализации радиолинии с параллельной побитной передачей сообщения сверхузкополосными сигналами в режиме перестройки матрицы рабочих частот по псевдослучайному закону. Действительно, теоретически, при фиксированной мощности $P_{\text{изл}}$ радиопередающего устройства (РПДУ) увеличивая длительность T одного бита сообщения в N раз можно без потери помехоустойчивости (если не учитывать пик-фактор при передаче многочастотного сигнала) параллельно передать N заданных элементов сообщения, поскольку

$$h^2 = \frac{P_{\text{изл}} \cdot T}{v^2} = \frac{\left(\frac{P_{\text{изл}}}{N}\right) \cdot (N \cdot T)}{v^2}. \quad (3)$$

Однако, помимо технических трудностей при реализации радиолинии, обеспечивающей параллельную передачу сообщения большого объёма ($N > 1000$), увеличивается время доставки сообщения, а также возникает ряд ограничений, связанных с изменением характеристик сверхузкополосных сигналов, отражённых от ионосферы. Так на рис. 7 приведены фрагменты спектрограмм, характеризующих варианты изменения параметров сверхузкополосного сигнала из-за влияния эффекта Доплера. Как показал анализ, диффузное размытие спектра сигнала составляет примерно $0,1 \div 0,2$ Гц, что делает нецелесообразным увеличение длительности бита сообщения более 10-15 секунд. Кроме того, в ряде случаев (см. рис. 7) частотная полоса, занимаемая принимаемым сверхузкополосным сигналом, может составить до нескольких герц, что необходимо учесть при реализации демодулятора в приёмном комплексе радиолинии.

Исходя из оценки длительности одного бита сигнала $T_{\text{бит}} \approx 10$ с и ориентируясь на характеристики штатной радиолинии, обеспечивающей заданные требования при скорости передачи 100 бит/с ($\tau_{\text{бит.шт}} = 10$ мс), число бит в передаваемом сообщении с рассматриваемой сигнальной конструкцией не должно превышать $N = \frac{T_{\text{бит}}}{\tau_{\text{бит.шт}}} \cdot K$, где коэффициент K учитывает пик-фактор при передаче многочастотного сигнала. С учётом различных методов снижения пик-фактора сигнала [31] получим оценку для максимального значения N : $N_{\text{max}} \leq 400$ бит с учетом кодовой избыточности в сообщении. Очевидно, что значение N_{max} может быть при необходимости увеличено за счёт повышения мощности РПДУ, или путем «поблочной» передачи сообщения.

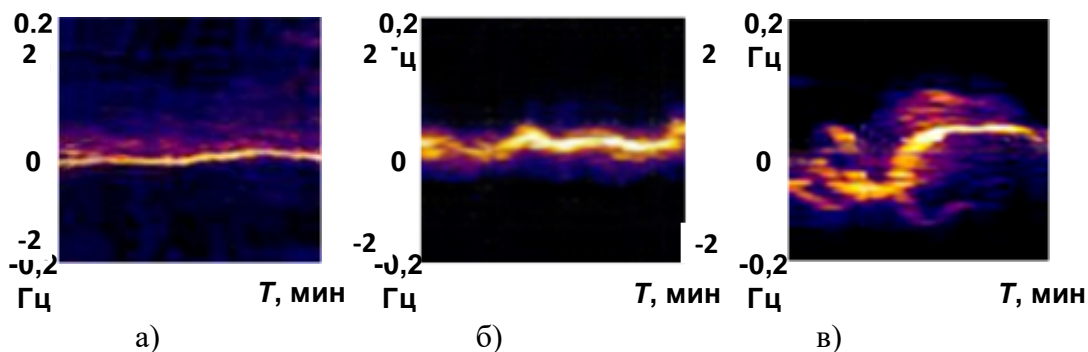


Рис. 7. Фрагменты вариантов влияния эффекта Доплера на принимаемый узкополосный сигнал при ионосферном отражении

Дополнительно следует отметить, что длительность передачи бита $T_{бит} \approx 10$ с обеспечивает защиту от быстрых замираний сигнала, что иллюстрируется осциллограммой на рис. 8.

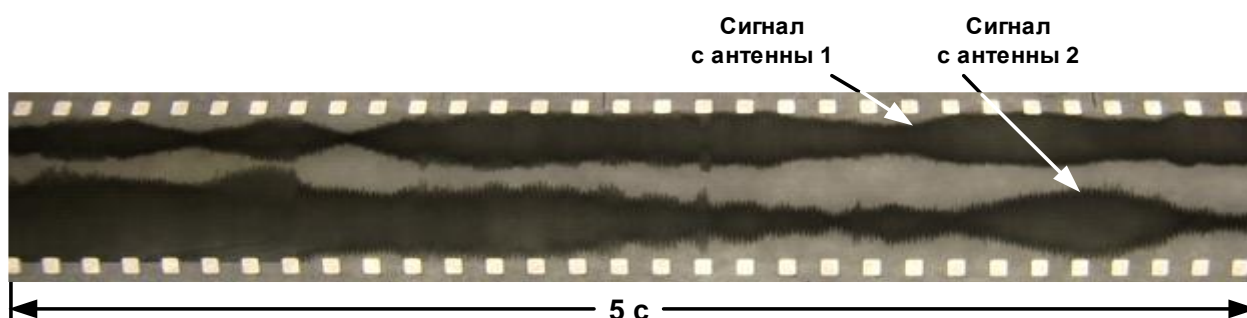


Рис. 8. Фрагменты осциллограммы приёма немодулированного сигнала на пространственно-разнесенные антенны при наличии быстрых замираний для двухскачковой декаметровый радиотрассы

Отдельно необходимо обратить внимание на вид модуляции, используемой для радиолиний с параллельной передачей сверхузкополосных сигналов. С точки зрения информационной скрытности побитная параллельная передача в режиме перестройки рабочих частот по псевдослучайному закону (ППРЧ) может вестись с использованием частотной (ЧТ) или амплитудной (АТ) модуляции [6]. Для оптимального когерентного (к) и некогерентного (нк) приёма сигналов в канале с постоянными параметрами на фоне белого шума, вероятность ошибки на бит для этих видов модуляции определяется следующими соотношениями [32]

$$p_{ЧТк} = 1 - F(h), \tag{4}$$

$$p_{АТк} = 1 - F\left(\frac{h}{\sqrt{2}}\right), \tag{5}$$

$$p_{ЧТнк} \approx 0,5e^{-\frac{h^2}{4}}, \tag{6}$$

$$p_{АТнк} \approx 0,5e^{-\frac{h^2}{8}}, \tag{7}$$

где $h = \sqrt{\frac{W}{v^2}}$, W – энергия бита сигнала, $F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^\infty e^{-\frac{t^2}{2}} dt$ – функция Лапласа.

Как следует из приведённых формул, вероятность ошибки при одной и той же мощности сигнала и v^2 выше при использовании модуляции АТ.

Однако при параллельной передаче бит сообщения, в силу примерно одинаковой плотности «единиц» и «нулей» в тексте, при использовании режима АТ число «активных» излучений будет ориентировочно в два раза меньше, чем при ЧТ модуляции, см. рис. 9.

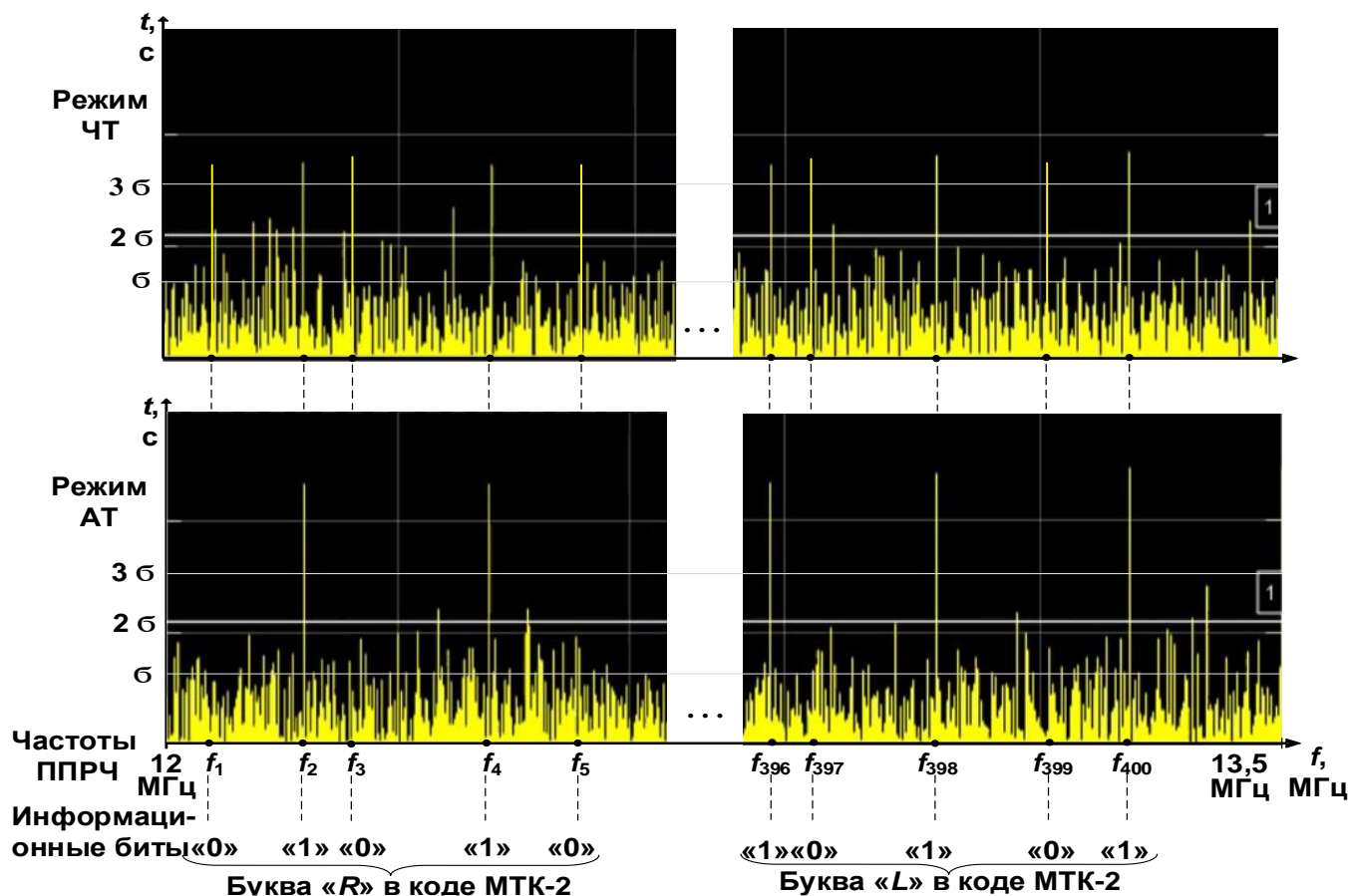


Рис. 9. Фрагмент спектрограмм приема текста сообщения передаваемого в режимах ЧТ и АТ при одинаковой мощности излучения РПДУ

Таким образом, реализуется возможность увеличения в два раза мощности передачи сигналов АТ без изменения мощности РПДУ, т. е. в рассматриваемой сигнальной конструкции $p_{AT} \approx p_{CH}$. Кроме того, уменьшение в эфире числа «активных» частот обеспечивает повышение электромагнитной совместимости, а также скрытности функционирования радиолинии.

Но основным преимуществом сигнальной конструкции при использовании режима ППРЧ и АТ модуляции является устойчивость к прицельным по частоте преднамеренным помехам. Более того, очевидно, что при их постановке средняя вероятность приёма сообщения будет *увеличиваться*, поскольку отсутствие априорных знаний у постороннего наблюдателя о частотах с пассивной паузой («0») не позволит «поставить» прицельную помеху, а постановка помех на активные частоты увеличит мощность принимаемых сигналов, в силу отсутствия у них структурных признаков, которые может нарушить прицельная помеха.

Методы приёма сверхзаклопанных сигналов с модуляцией АТ

Определенная в предыдущем подразделе статьи длительность бита сообщения $T_{бит} \approx 10$ с позволяет существенно упростить систему синхронизации для совместной перестройки частот на РПДУ и РПУ радиолинии по заданному псевдослучайному закону, а реализация передачи сеансов связи с временными интервалами, также изменяющимися по псевдослучайному закону (ППВС), обеспечивает повышение скрытности передачи данных [30]. С учетом этого на рис. 10 и 11 приведена структура радиолинии.

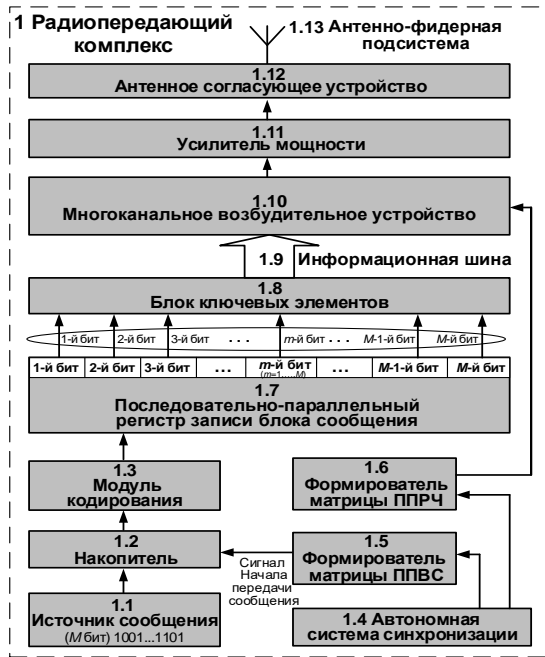


Рис. 11. Функциональная схема радиопередающего комплекса

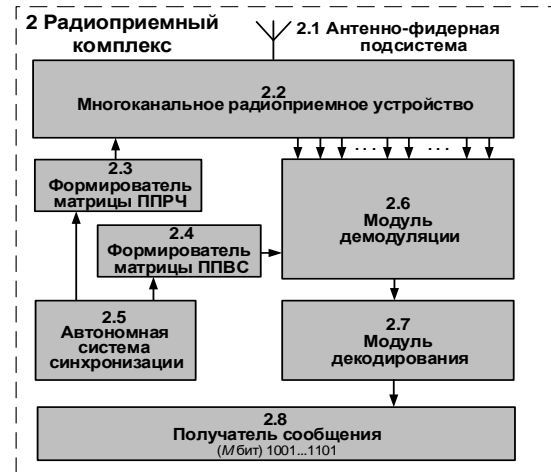


Рис. 10. Функциональная схема радиоприёмного комплекса

Одной из сложных задач при её реализации представляется разработка метода приёма и демодуляции бит сообщения в условиях доплеровского смещения рабочей частоты в месте приёма. Одним из вариантов решения задачи является использование банка узкополосных фильтров [33] на каждой рабочей частоте, с применением энергетического обнаружителя сигнала на выходе каждого фильтра, рис. 12.

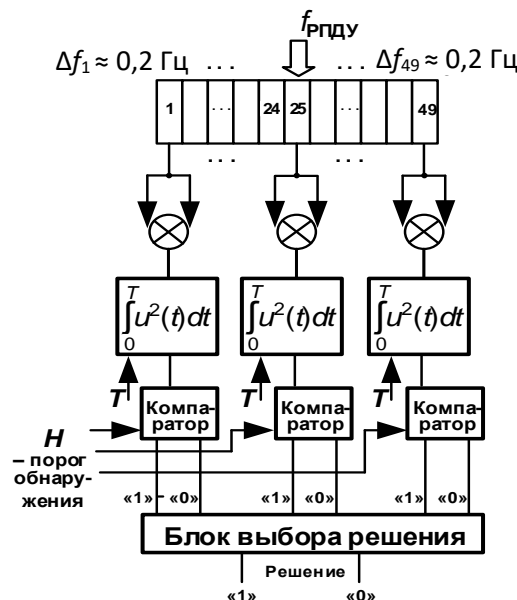


Рис. 12. Функциональна схема демодулятора для одного бита сообщения при $\Delta f_{\text{Доплер}}^{\text{max}} \approx \pm 5 \text{ Гц}$, $\Delta f_i \approx 0,2 \text{ Гц}$

Энергетический обнаружитель сигнала [22] для эффективного функционирования помимо данных о начале и окончании времени сеанса связи должен получать значение оптимального порога обнаружения H .

Средняя вероятность ошибки при некогерентном приёме сигнала с АТ модуляцией определяется по формуле:

$$p_{\text{ош}} = \frac{1}{2} \int_0^H \frac{2V_1}{Wv^2} \exp\left(-\frac{V_1^2 - W^2}{Wv^2}\right) I_0\left(\frac{2V_1}{v^2}\right) dV_1 + \frac{1}{2} \exp\left(-\frac{H^2}{Wv^2}\right), \quad (8)$$

где V_1 – напряжение огибающей сигнала на выходе фильтра в момент окончания сеанса.

Оптимальное значение порога H можно найти минимизируя вероятность ошибки $p_{\text{ош}}$, путём взятия производной в выражении (8) и приравняв её к нулю:

$$I_0\left(\frac{2H}{v^2}\right) = \exp\left(\frac{W}{v^2}\right). \quad (9)$$

Воспользовавшись аппроксимацией функцией Бесселя нулевого порядка:

$$I_0(z) \approx \frac{\exp(z)}{\sqrt{2\pi z}}$$

при $z \geq 2$ получим:

$$\frac{2H}{v^2} - \ln \sqrt{2\pi \frac{2H}{v^2}} = \frac{W}{v^2}. \quad (10)$$

Из численных расчётов по выражению (8) следует, что при $W/v^2 > 15$ дБ $H \approx W/2$, однако если $W/v^2 \leq 15$ дБ, а это в реальных условиях представляет наибольший интерес, значение оптимального порога существенно зависит от мощности накопленного сигнала и v^2 .

Отсутствие априорных данных по этим величинам при ориентировочной установке значения H может резко снизить эффективность приёма. Для иллюстрации на рис. 13 приведен график, отражающий влияние установки оптимального и неоптимального фиксированного порога на вероятность ошибки при некогерентном приеме сигналов АТ [34].

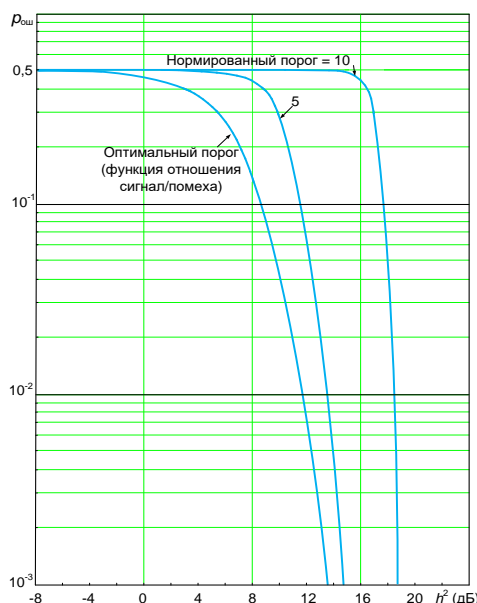


Рис. 13. Зависимость $p_{\text{ош}}$ от установленного порога приёма

Вместе с тем, считая шумы стационарными в течении 20 с в полосе $\Delta f \approx 10$ Гц, данные по v^2 могут быть получены по предварительным измерениям за 10 секунд до начала сеанса связи, а значение W может быть оценено исходя из конкретных условий радиотрассы и мощности РПДУ, но из-за большого количества каналов (49 фильтров, см. рис. 12) вероятность принятия ошибочного решения увеличивается с уменьшением отношения W/v^2 . Альтернативным вариантом является определение по ансамблю из 49 выборок, полученных до начала сеанса, значений по дисперсии шума и среднеквадратическому отклонению σ . Воспользовавшись при приёме сигналов тремя порогами H : 2σ , 3σ и 4σ [35] можно предоставить декодеру дополнительные данные по оценке вероятности принятого решения для каждого бита сообщения, что в целом повысит помехоустойчивость приёма.

Не останавливаясь на других возможных вариантах демодуляции, отметим, что процесс «накопления» сигнала является достаточно равномерным, см. рис. 14,

следовательно, канал с наличием сигнала определяется по градиенту увеличения напряжения огибающей на выходе каждого фильтра. Вместе с тем, такой алгоритм требует использования значительных вычислительных ресурсов.

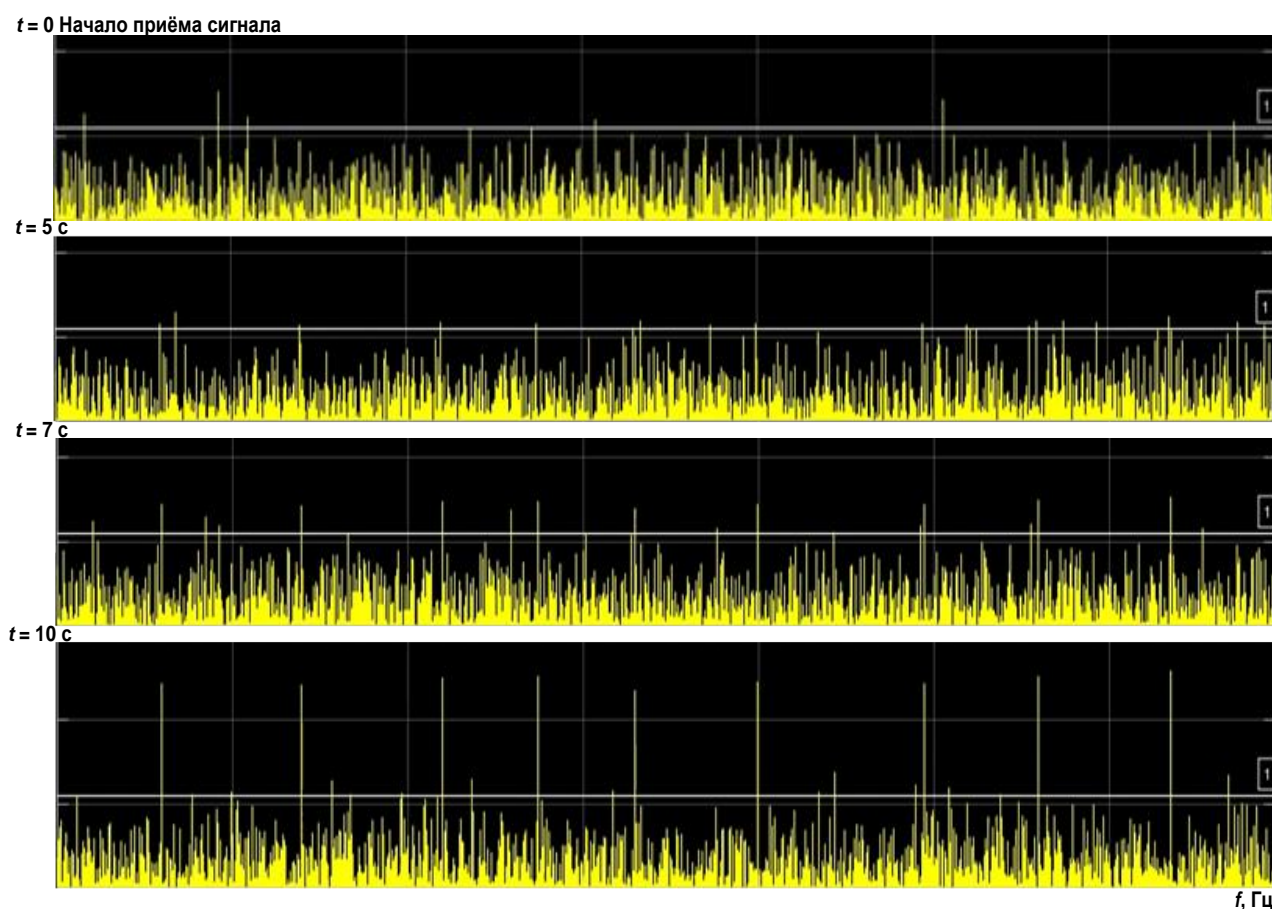


Рис. 14. Фрагменты спектрограмм приема сверхзаклопосного сигнала на фоне белого шума

Радиолиния, реализованная на базе рассмотренной сигнально-кодовой конструкции (СКК), позволяет обеспечить приём не только при наличии «прицельных» помех, но также и при организации заградительной помехи (ЗП).

Действительно, перед постановкой ЗП, система мониторинга должна с достаточно низкой вероятностью ложной тревоги обнаружить начало работы радиолинии. Вместе с тем обнаружение сверхзаклопосных сигналов рассматриваемой структуры требует наличия системы параллельного поиска минимум на $\frac{1}{5} \Delta F_{\text{ППРЧ}}$, чтобы обнаружить наличие

одновременного начала излучения группы сигналов. Для рассматриваемой сигнальной конструкции $\Delta F_{\text{ППРЧ}} \approx 1$ МГц и $\Delta f \approx 0,2$ Гц, т. е. даже если предположить, что поиск сигналов посторонним наблюдателем будет осуществляться в полосе $\Delta f_{\text{сигн}} = 0,5$ Гц (что существенно снизит вероятность обнаружения сигнала из-за увеличения отношения P_c/P_n), для мониторинга заданной полосы частот потребуется минимум $K = \frac{1}{5} \frac{\Delta F_{\text{ППРЧ}}}{\Delta f_{\text{обн}}} \approx 400\,000$ каналов

параллельного анализа. Легко убедиться, используя расчёты на базе формулы Бернули, что в этом случае даже при вероятности ложной тревоги в одном канале $P_{\text{л.т.}} \approx 10^{-5}$, суммарная вероятность ложной тревоги будет неприемлемо высокой. Тем не менее, предположим, что обнаружителю постороннего наблюдателя удалось осуществить приём и классификацию сигнала, до окончания сеанса связи и поставить заградительную помеху, но учитывая, что абонентская радиолиния обладает дополнительной информацией ($f_{\text{раб}}$ и временем начала

сеанса связи), а также то, что в радиолинии используются ФАР с оптимизированными диаграммами направленности для заданной радиотрассы, а рабочие частоты близки к оптимальным (ОРЧ), естественно предположить, что к моменту начала постановки ЗП, РПУ радиолинии также будет иметь возможность осуществить приём и демодуляцию сигнала.

Примечание: варианты увеличенной напряжённости поля сигнала в точке обнаружения по сравнению с напряжённостью поля сигнала в месте нахождения абонента в данном случае не рассматриваются

Основным условием для этого является прекращение «накопления» сигналов в момент начала ЗП. Такая задача в РЛ решается за счёт увеличения каналов приёма в РПУ в два раза. Частотная полоса анализа мощности помех в дополнительных каналах может составлять 20-30 Гц. Структура расположения дополнительных каналов приёма $f_{дi}$ понятна из приведённых характеристик на рис. 8.

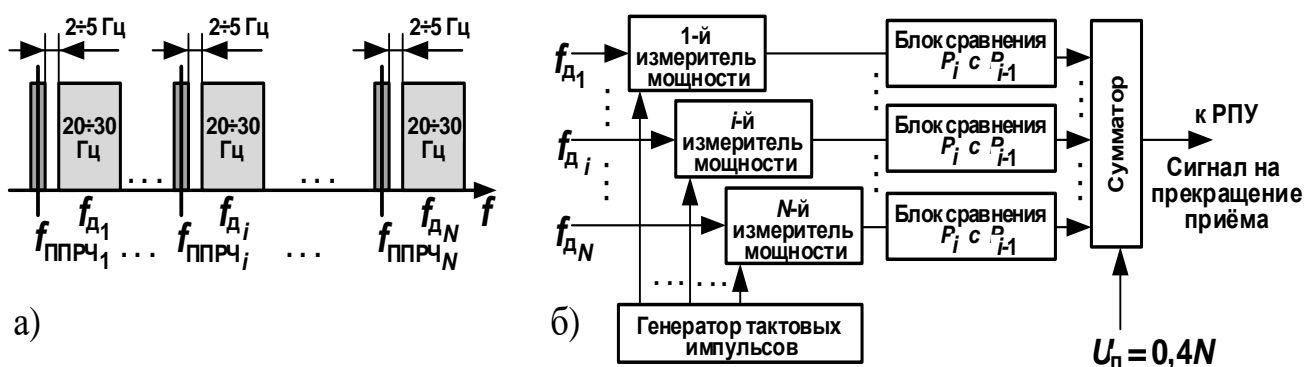


Рис. 15. Структура расположения дополнительных каналов приёма (а), структурная схема обнаружителя ЗП (б)

Сигнал с каждого дополнительного канала (фильтра) поступает на измеритель мощности помехи, данные в котором обновляются через $t_{обн.} \approx 50$ мс, отсчитывая от момента поступления сигнала о начале сеанса связи.

В блоке сравнения измеренная мощность помехи P_i сравнивается с мощностью помехи на предыдущем шаге измерения, и если $P_i > 2P_{i-1}$, в сумматор поступает сигнал управления «1». При одновременном поступлении в сумматор сигналов «1» с $K > 0,4N$ каналов (т. е. число поражённых каналов выше исправляющей способности кодовой конструкции, используемой в РЛ), с сумматора передаётся в РПУ запрещающий сигнал на продолжение приёма и разрешающий – на переход к процедуре демодуляции и декодирования. Вводя дополнительные задержки в обработке принимаемых из эфира сигналов, можно полностью исключить влияние заградительной помехи на приём сообщения.

Выбор метода кодирования

Как показали имитационное моделирование и результаты экспериментальных исследований, в реальных условиях декаметровая радиосвязь до 15 ÷ 25 % бит сообщения для рассматриваемой сигнальной конструкции будут приняты неверно из-за наличия сосредоточенных помех и медленных замираний сигнала на рабочих частотах.

Учитывая это, выбор метода кодирования текста сообщения для декаметрового канала является, безусловно, важной задачей.

При этом, как известно, наиболее эффективно использование недвоичного (n, k) кода Рида-Соломона (РС), который позволяет исправить в блоке t ошибочных и s стертых знаков при выполнении соотношения $2t + s < n - k$, где n – число символов в кодируемом блоке, k – число информационных бит. При этом значение n не должно превышать основание кода q .

Очевидно, при формировании знаков кода РС безызбыточной последовательностью бит ошибочный прием хотя бы одного бита в знаке приводит к ошибочному приему знака.

Как показано в работе [36], в таких случаях целесообразно включать коды Рида-Соломона в каскадные схемы кодирования. Вместе с тем эффективность каскадных кодов зависит от параметров применяемых при построении сигнально-кодовой конструкции внешнего и внутреннего кодов.

Исходя из этого, рассмотрим использование каскадной схемы кодирования с последовательным повышением основания кода с максимально коротким внутренним кодом. В качестве внешнего – используем код РС над $GF(256)$ в режиме исправления ошибок и стираний, а также рассмотрим возможность использования обобщенного каскадного кода над $GF(16)$.

Для обоснования выбора внутреннего кода проведем расчет показателей помехоустойчивости для (7,4) кода Хэмминга, (8,4) расширенного кода Хэмминга, (7,5) кода с постоянным весом и (3,2) кода с проверкой на общую четность (ОЧ) для симметричного канала с вероятностями ошибки 0,1 и 0,25 (Табл. 2). Оценка проводится по соотношениям для двоичных кодов с симметричным спектром (см. Приложение).

Таблица 2 – Расчеты показателей помехоустойчивости для симметричного канала

Код	Вероятность ошибки	Вероятности		
		правильного приема	трансформации	стирания
(7,4) Хэмминг	0,1	0.850306	0.094582	0.055112
	0,25	0.444946	0.373367	0.181686
(8,4) Хэмминг	0,1	0.813105	0.012012	0.174884
	0,25	0.367081	0.107280	0.525640
(7,5)	0,1	0.478297	0.126561	0.395142
	0,25	0.133484	0.370422	0.496094
(3,2)	0,1	0.729000	0.001000	0.270000
	0,25	0.421875	0.015625	0.562500

Код (7,5) с постоянным весом существенно уступает по показателям помехоустойчивости остальным рассмотренным кодам и из дальнейшего рассмотрения исключается.

Для обеспечения передачи сообщения объемом 256 бит предлагается следующая схема каскадного кодирования:

Информация делится на байты и кодируется кодом РС над $GF(256)$. Информационная длина 32 (ступень 4).

Каждый байт делится на группы по 4 бита и кодируется кодом РС над $GF(16)$. Информационная длина 2 (ступень 3).

Каждые 4 бита делятся на группы по 2 бита и кодируются кодом РС над $GF(4)$. Информационная длина 2 (ступень 2).

Каждые 2 бита кодируются кодом с проверкой на общую четность (ступень 1).

Ступени 1 и 2 могут быть заменены кодированием кодом Хэмминга, информационная длина 4.

Оценка целесообразности использования простого и расширенного кода Хэмминга проведена путем сравнения информационной скорости СКК при обеспечении вероятности правильного приема сообщения не менее 0,9 в двоичном симметричном канале с вероятностью ошибки 0,2 (Табл. 3).

Для внутренних кодов (основания 2,4,16) проводится оценка показателей помехоустойчивости кодов с минимальной кодовой длиной. Для внешнего кода (основание 256) – поиск кода с вероятностью правильного приема не менее 0,9.

Таблица 3 – Характеристики кодов, обеспечивающих вероятность правильного приема сообщения не менее 0,9

Основание кода	Информационная длина	Кодовая длина	Скорость кода	Вероятность		
				правильного приема	трансформации	стирания
(3,2) код ОЧ+(4,2) код РС над GF(4)+(3,2) код РС над GF(16)+(46,32) код РС над GF(256)						
2	2	3	2/3	0.512000	0.008000	0.480000
4	2	4	1/2	0.6931	< 10 ⁻¹⁰	0.3069
16	2	3	2/3	0.775249	< 10 ⁻¹⁰	0.224751
256	32	46	0.696	0.925	< 10 ⁻¹⁰	0,07499
			0.155			
(7,4) код Хэмминга + (3,2) код РС над GF(16)+ (69,32) код РС над GF(256)						
2	4	7	4/7	0.576717	0.277056	0.146227
16	2	3	2/3	0.337922	< 10 ⁻¹⁰	0.662078
256	32	113	0.283	0.910	< 10 ⁻¹⁰	0,0899
			0.108			
(8,4) код Хэмминга + (3,2) код РС над GF(16)+ (64,32) код РС над GF(256)						
2	4	8	4/8	0.525640	0.066065	0.430619
16	2	3	2/3	0.454404	< 10 ⁻¹⁰	0.545596
256	32	83	0.386	0.914	< 10 ⁻¹⁰	0,085999
			0.129			

Для кодов РС оценка вероятности трансформации проводится по модифицированной формуле Блэйхута (см. Приложение).

По информационной скорости выигрывает вариант с кодом с проверкой на общую четность. Далее будем ориентироваться на (3,2) код ОЧ в первой ступени каскадного кода и проводить оценку для несимметричного канала связи.

Оценку показателей помехоустойчивости (3,2) кода с проверкой на общую четность для несимметричного канала проведем по соотношениям

$$p_{пр} = 0,25 \cdot (1 - p_{пер0})^3 + 0,75 (1 - p_{пер0}) \cdot (1 - p_{пер1})^2,$$

$$p_{тр} = 0,25 \cdot 3 \cdot (1 - p_{пер0}) \cdot p_{пер0}^2 + 0,75 \cdot (1 - p_{пер0}) \cdot p_{пер1}^2 + 2 \cdot p_{пер1} \cdot p_{пер0} \cdot (1 - p_{пер1}),$$

$$p_{ст} = 1 - p_{пр} - p_{тр}.$$

Результаты расчета приведены в первой строке табл. 4 для вероятности перехода значения бита «1» в «0» – $p_{пер1} = 0,1$ и вероятности значения перехода бита «0» в «1» – $p_{пер0} = 0,25$.

Для кодов второй и третьей ступени рассчитываются вероятности правильного приема и трансформации при двукратной и полуторной избыточности. Далее проводится определение кодовой длины кода 4-й ступени, обеспечивающего вероятность правильного приема сообщения не менее 0,9. Оценка вероятности трансформации проводится по модифицированной формуле Блэйхута. Результаты представлены в табл. 4.

Альтернативный вариант:

Информация делится на группы по 4 бита и кодируется обобщенным каскадным кодом (ОКК) над GF(16). Информационная длина 64. Каждые 4 бита делятся на группы по 2 бита и кодируются кодом РС над GF(4). Информационная длина 2. Каждые 2 бита кодируются кодом с проверкой на общую четность.

В табл. 5 приведен расчет кодовой скорости для двух наилучших вариантов с кодом РС и варианта с ОКК, а также оценено среднее количество «1» в передаваемой последовательности.

Оценка нижней границы ОКК проводилась следующим образом. Известно [39], что при бесконечном числе вложений параметры ОКК близки к параметрам оптимального кода. Оптимальным является код РС, достигающий границы Синглтона. При 7-8 уровнях вложения ОКК проигрывает примерно на 30%. При определении ожидаемых параметров ОКК был проведен расчет ожидаемой нижней границы кодовой длины для кода, достигающего границы

Синглтона. Полученное значение было увеличено на 30%. Ожидаемая кодовая длина ОКК составила 138.

Далее были определены структура и параметры близкого по характеристикам практически реализуемого кода: число строк – 11, число столбцов – 14, порядок кода – 8. При этом вероятность правильного приема составляет 0,93, вероятность трансформации – менее 10^{-15} . Кодовое расстояние для столбца при первом декодировании составляет 4. При вероятности стирания 0,341 среднее число стертых символов равно 3,75. Очевидно, дальнейшее уменьшение числа строк приведет к отказу от декодирования уже на первой ступени декодирования. При уменьшении числа столбцов до 13 вероятность правильного приема падает до 0,63.

Таблица 4 – Оценка вероятности трансформации бит сообщения

№ ступени	Основание кода	Информационная длина	Кодовая длина	Вероятность ошибки на бит	Вероятность стирания (на входе декодера)	Вероятность правильного приема	Вероятность трансформации
1	2	2	3	0,1 / 0,25	0	0.561094	0.074531
2	4	2	4	0.075	0.364	0.6592810	$< 10^{-10}$
			3	0.075	0.364	0.5202320	$< 10^{-10}$
3	16	2	4	$< 10^{-10}$	0.341	0.8819560	$< 10^{-10}$
			3	$< 10^{-10}$	0.341	0.7304600	$< 10^{-10}$
4	256	32	40	$< 10^{-10}$	0.118	0.959587	$< 10^{-10}$
			49	$< 10^{-10}$	0.270	0.912543	$< 10^{-10}$
			52	$< 10^{-10}$	0,270	0,9759	$< 10^{-10}$

Таблица 5 – Расчет кодовой скорости

Основание кода	Информационная длина	Кодовая длина	Скорость	Скорость суммарная	Вероятность правильного приема	Всего бит	Число «1» среднее
ОЧ(3,2) + РС(4,2) + РС(4,2) + РС(40,32)							
2	2	3	2/3	0,133	0,96	1920	960
4	2	4	1/2				
16	2	4	1/2				
256	32	40	0,8				
ОЧ(3,2) + РС(4,2) + РС(3,2) + РС(49,32)							
2	2	3	2/3	0,144	0,91	1764	882
4	2	4	1/2				
16	2	3	2/3				
256	32	49	0,65				
256	32	55	0,62	0,137	0,98	1872	936
256	16	28	0,57	0,127	0,98	1008	504
256	16	27	0,59	0,132	0,96	972	486
ОЧ(3,2) + РС(4,2) + ОКК(138,64) – (138 – расчетная нижняя граница кодовой длины ОКК)							
2	2	3	2/3	0,155	0,90	1656	828
4	2	4	1/2				
16	64	138	0,46				
ОЧ(3,2) + РС(4,2) + ОКК(154,64 : 1,3,5,8,10,11,13,13)							
2	2	3	2/3	0,139	9,93	1848	924
4	2	4	1/2				
16	64	154	0,42				

В дополнение следует отметить, что ОКК критичен к распределению ошибок и стираний в кодовом слове в отличие от кода РС, инвариантному к расположению искажений.

Также, код РС в отличие от ОКК обладает достаточно гибкой структурой, что при изменении условий приема позволяет легко варьировать его параметры.

Анализ приведенных результатов позволяет выбрать следующую кодовую конструкцию: ОЧ(3,2) + РС(4,2) + РС(3,2) + РС(49,32), обеспечивающую доведение сообщения длиной 256 бит при передаче 1764 бит (среднее число «1» – 882) с вероятностью правильного приема 0,91 при вероятности трансформации существенно меньшей 10^{-10} .

Представленная методика расчета каскадного кода позволяет определить его оптимальную структуру для различных заданных значений информационной длины и вероятности правильного приема сообщений. Так, для $P_{пр} > 0,98$ и $k = 32$ (256 бит) наилучшим является код с параметрами ОЧ(3,2) + РС(4,2) + РС(3,2) + РС(55,32). Варьирование длиной внешнего кода РС в пределах $49 \div 55$ позволяет обеспечить значение вероятности правильного приема в интервале $0,91 \div 0,98$. При уменьшении информационной длины пропорционально снижается время передачи с сохранением вероятностных характеристик.

Выводы

Одним из перспективных направлений развития техники связи в декаметровом диапазоне волн является создание «мегаканальных» радиоприёмных и возбуждающих устройств.

Внедрение радиолиний с параллельной побитной передачей сообщений узкополосными сигналами в режиме ППРЧ позволит повысить устойчивость связи за счёт снижения требований к системе синхронизации и отсутствия межсимвольной интерференции.

Радиолиния декаметрового диапазона волн с использованием параллельной передачи сверхузкополосных сигналов с модуляцией АТ обладает повышенной помехоустойчивостью в условиях воздействия сосредоточенных и преднамеренных помех.

Получена модифицированная формула Блэйхута, позволяющая вести уточненные расчеты вероятностных характеристик каскадных кодов.

Разработаны методы построения оптимальных каскадных кодов для сигнально-кодовой конструкции с параллельной передачей бит сообщения.

Разработка эффективных методов и способов обнаружения и приёма сверхузкополосных сигналов с низкой энергетикой представляет теоретическое и практическое значение.

Проведенные лабораторные испытания макетного образца подтверждают эффективность предлагаемых технических решений, в том числе и для декаметровой системы радиосвязи [2].

Приложение

Вероятностные характеристики сигнально-кодовой конструкции рассчитывались с учетом следующих формул. Ниже приведены расчетные соотношения для симметричного канала.

Для двоичных кодов, исправляющих ошибки в пределах половины кодового расстояния, вероятностей правильного приема, трансформации кодового слова и стирания определяется следующими формулами [37]

$$p_{пр} = \sum_{i=0}^{\lfloor \frac{d-1}{2} \rfloor} \binom{n}{i} p^i (1-p)^{n-i},$$

$$p_{тр} = \sum_{h=\frac{d}{2}}^n p^h (1-p)^{n-h} \sum_{s=0}^l \sum_{l=1}^n A_l N(l, h, s),$$

$p_{ст} = 1 - p_{пр} - p_{тр}$ при выполнении соотношения $2t + 1 < d$, где p – вероятность ошибки в приеме одного бита информации; n – кодовая длина слова; t – число исправляемых ошибок; A_l – число кодовых слов веса l для двоичного кода с симметричным спектром $A_l = 2^{k-n} \binom{n}{l}$,

$N(l, h, s) = \sum_{\substack{j+k=s \\ l+k-j=h}} \binom{n-l}{k} \binom{l}{j}$ – число комбинаций, соответствующим количеством ошибок.

Для кодов Рида-Соломона (РС) вероятность правильного приема при исправлении ошибок в пределах половины кодового расстояния в канале без стираний определяется следующим соотношением:

$$p_{\text{пр}} = \sum_{i=0}^{\lfloor (d-1)/2 \rfloor} \binom{n}{i} p^i (1-p)^{n-i},$$

где d – кодовое расстояние, n – кодовая длина, а вероятность трансформации вычисляется в соответствии с формулой Блэйхута [38]:

$$p_{\text{тр}} = \sum_{h=0}^n \left[\frac{p}{q-1} \right]^h (1-p)^{n-h} \sum_{s=0}^t \sum_{l=1}^n A_l N(l, h; s),$$

где p – вероятность ошибочного приема символа, q – основание кода, n – кодовая длина, A_l – число кодовых слов веса l , $N(l, h; s)$ – число конфигураций ошибок веса h , находящихся на расстоянии s от конкретного кодового слова веса l ,

$$A_l = \binom{n}{l} (q-1) \sum_{j=0}^{l-1} (-1)^j \binom{l-1}{j} q^{l-d-j},$$

$$N(l, h; s) = \sum_{\substack{0 \leq i, j \leq n \\ i+2j+h=s+l}} \binom{n-l}{j+h-l} \binom{l}{i} \binom{l-i}{j} (q-1)^{j+h-i} (q-2)^i.$$

Для канала со стираниями вероятность правильного приема слова внешнего кода равна

$$p_{\text{пр}} = \sum_{i=0}^{\lfloor (d-1)/2 \rfloor} \sum_{s=0}^{d-2i-1} \binom{n}{i} \binom{n-i}{s} p_c^s p^i (1-p_c-p)^{n-i-s},$$

где p_c – вероятность стирания знака кода, p – вероятность ошибочного приема знака.

Для вывода формулы вероятности трансформации кодового слова РС-кода будем исходить из того, что алгебраический декодер по принятому из канала кодовому слову вычисляет вектор ошибки веса, определяемого корректирующей способностью кода, вес вектора ошибки равен числу его ненулевых позиций, при этом позиции стираний заранее известны, а позиции ошибок распределяются равномерно. В этом случае вес корректируемого вектора ошибки s определяется соотношением $s \leq (c + d - 1)/2$, где c – число стираний, $d > 2t + c + 1$ – кодовое расстояние, t – число исправляемых ошибок.

Предполагая, что в декодируемом кодовом слове имеется h ошибок и c стираний, определим число конфигураций ошибок веса $h + c$, находящихся на расстоянии s от конкретного кодового слова веса l (вектор ошибки также является кодовым словом).

В кодовом слове веса l позиции могут быть искажены следующим образом:

замена k из $n - l$ нулевых символов на любой из $q - 1$ ненулевых – $\binom{n-l}{k} (q-1)^k$ возможных вариантов, $0 < k < n - l$;

замена i из l ненулевых символов на любой из $q - 2$ других ненулевых – $\binom{l}{i} (q-2)^i$ возможных вариантов, $0 < i < l$;

замена j оставшихся неискаженных ненулевых символов на нули – $\binom{l-i}{j}$ возможных вариантов, $0 < j < l - i$.

При этом число внесенных искажений $s = i + j + k$, одновременно вес искаженного описанным способом слова составляет $l + k - j$.

Очевидно, что стертые позиции в принятом слове строго фиксированы. Пусть число стираний составляет c , тогда возможно их расположение на $n - h$ позициях – $\binom{n-h}{c}$ вариантов.

Таким образом, число конфигураций ошибок веса $h + c$, находящихся на расстоянии s от конкретного кодового слова веса l составит

$$N(l, h + c; s) = \sum_{k=0}^{n-l} \sum_{i=0}^{l-i} \frac{\binom{n-l}{k} (q-1)^k \left[\binom{l}{i} (q-2)^i \right] \left[\binom{l-i}{j} \right]}{\binom{n-h}{c}},$$

при $s = i + j + k$ и $c + h = l + k - j$.

Поскольку число кодовых слов веса l определяется выражением

$$A_l = \binom{n}{l} (q-1) \sum_{j=0}^{l-d} (-1)^j \binom{l-1}{j} q^{l-d-j}.$$

Общее число конфигураций ошибок веса $h + c$ составит $\sum_{s=0}^{(c+d-1)/2} \sum_{l=d}^n A_l N(l, h+c; s)$, а вероятность каждой из них будет равна $\frac{p^h p_n^c (1-p-p_c)^{n-h-c}}{(q-1)^{h+c}}$ при $0 < c < d$, $0 < h < n - c$ и $2h + c > d$.

Таким образом, вероятность трансформации кодового слова РС-кода для канала со стираниями определится соотношением (модифицированная формула Блэйхута):

$$P_{\text{тр}} = \sum_{c=0}^{d-1} \sum_{h=0}^{n-c} \frac{p^h p_n^c (1-p-p_c)^{n-h-c}}{(q-1)^{h+c}} \sum_{s=0}^{(c+d-1)/2} \sum_{l=d}^n A_l N(l, h+c; s) \text{ при } 2h+c > d.$$

Литература

1. Николашин Ю.Л., Будко П.А., Жуков Г.А. Основные направления модернизации декаметровой системы связи // Техника средств связи. 2019. № 1 (145). С. 13-25.
2. Будко П.А., Жуков Г.А., Кулешов И.А., Николашин Ю.Л. Методы и каналы управления робототехническими комплексами морского базирования в гетерогенной среде // Робототехника и техническая кибернетика. 2017. № 4 (17). С. 28-40.
3. Лазоренко В.С., Ватаф С.А., Панков Д.В. О развитии сетей ведомственной декаметровой радиосвязи с учетом её значимости при создании системы связи Арктической зоны / Материалы III Международной НТК «Радиотехника, электроника и связь» (РЭиС-2015). Омск.: ОНИИП, 2015. С. 64-68.
4. Долгополов А.В., Богданов С.А. Эволюция форм и способов ведения вооруженной борьбы в сетевых условиях // Военная мысль. 2011. № 2. С. 49-58.
5. Анненков В.И., Баранов С.Н., Моисеев В.Ф., Хархалуп С.С. Сетевизм: геополитические и военно-политические аспекты современности / Под общ. ред. проф. В. И. Анненкова. Учебник. – М.: РУСАВИА, 2013. – 496 с.
6. Николашин Ю.Л., Мирошников В.И., Будко П.А., Жуков Г.А. Автоматизированный, слуховой и визуальный приём коротких сообщений на удалённых морских объектах // Морская радиоэлектроника. 2017. № 3 (61). С. 34-39.
7. Кузеванов В.И., Лаврухин В.А. Проектирование автоматизированных комплексов связи кораблей ВМФ: Методы и методики. – СПб.: «Элмор», 2009. – 232 с.
8. Николашин Ю.Л., Мирошников В.И., Будко П.А., Жуков Г.А. Когнитивная система связи и влияние использования данных мониторинга на помехоустойчивость сверхзвукосвязных декаметровых радиолоний // Морская радиоэлектроника. 2015. № 2 (52). С. 16-22.
9. Официальный сайт АО «ОНИИП»/ <http://www.oniip.ru/produkcia> (Дата обращения 25.02.2021).
10. Ступницкий М.М., Лучин Д.В. Потенциал КВ-радиосвязи – для создания цифровой экосистемы России // Электросвязь. 2018. № 5. С. 49-54.
11. Николашин Ю.Л., Мирошников В.И., Будко П.А., Жуков Г.А. Территориально-разнесённый приём информации от глобально-перемещающихся объектов морского базирования // Морская радиоэлектроника. 2017. № 4 (62). С. 18-23.
12. Лузан Ю.С., Хмырова Н.П. Адаптивная радиосвязь в ДКМ диапазоне частот, современное состояние и тенденции развития // Техника радиосвязи. 2008. № 13. С. 3-24.
13. Гук И.И., Путилин А.Н., Сиротинин И.В., Хвостунов Ю.С. Адаптивная система декаметровой радиосвязи с полнодиапазонной перестройкой рабочей частоты и предварительные результаты трассовых испытаний ее фрагмента / Материалы VII Межрегиональной конференции

«Информационная безопасность регионов России» (ИБРР-2011). (Санкт-Петербург, 26-28.10.2011.) – СПб.: ФГУП «НПО «Импульс», 2011. С. 32-35.

14. Пукса Д.О., Романов Ю.В. Результаты трассовых испытаний адаптивной пакетной КВ-радиолинии высокоскоростной передачи данных файлового типа разработки ОАО «ОНИИП» / Материалы III Международной НТК «Радиотехника, электроника и связь» (РЭС-2015). Омск.: ОАО «ОНИИП», 6-8.10.2015. С. 186-192.

15. Макаренко С.И., Иванов М.С., Попов С.А. Помехозащищенность систем связи с псевдослучайной перестройкой рабочей частоты. СПб. Свое издательство. 2013. 166 с.

16. Гордейчук А.Ю., Дворников С.В., Иванов В.А., Русинов М.А., Семисошенко М.А. Оценка помехозащищенности линий радиосвязи в режиме с медленной программной перестройки рабочей частоты // Труды учебных заведений связи. 2017. Т. 3. № 4 С. 36-42.

17. Романов Ю.В. Эволюция высокоскоростных КВ-радиомодемов в XX веке // Техника радиосвязи. 2016. № 1 (28). С. 72-88.

18. Сосновский Н.С., Ярофевич Б.Н. Когерентное сложение разнесённых сигналов с предварительным взвешиванием парциальных каналов // Техника средств связи. Сер. Техника радиосвязи. 1981. Вып. 10 (29). С. 49-56.

19. Жуков Г.А. Методы весовой мажоритарной обработки дискретной информации при приёме по параллельным каналам // Техника средств связи. Сер. Техника проводной связи. 1983. Вып. 8. С. 74-84.

20. Финк Л.М. Теория передачи дискретных сообщений. – М.: Советское радио, 1970. – 727 с.

21. Варакин Л.Е. Системы связи с шумоподобными сигналами. – М.: Радио и связь, 1985. – 385 с.

22. Куприянов А.И. Радиоэлектронная борьба. – М.: Вузовская книга, 2013. – 359 с.

23. Липатников В.А., Царик О.В. Методы радиоконтроля. Теория и практика. – СПб.: ГНИИ «Нацразвитие», 2018. – 607 с.

24. Цикин И.А. Дискретно-аналоговая обработка сигналов. – М.: Радио и связь, 1982. – 161 с.

25. Пименов П.Н. Метод оценки помехоустойчивости средств широкополосного радиодоступа к воздействию сверхкоротких электромагнитных импульсов. Дисс. канд. техн. наук. Москва. 2015. 133 с.

26. Николашин Ю.Л., Будко П.А., Жолдасов Е.С., Жуков Г.А. Повышение эффективности функционирования декаметровых радиолиний // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2015. № 2. С. 4-10.

27. Воронов А.В., Приходько В.Ю. Оценка влияния фазового спектра при формировании сигнала в многочастотном режиме // Известия высших учебных заведений России. Радиоэлектроника. 2013. № 6. С. 23-26.

28. Doppler sounding of the Ionosphere – latest Doppler shift spectrograms by IAP. <http://ok1dub.cz/ok0eu/index.php?view=42> (Дата обращения 28.05.2020).

29. <https://www.ruqrz.com> «Работа в режиме QRSS». (Опубл. 24.11.2014 г.). (Дата обращения 20.11.2020 г.).

30. Жуков Г.А., Будко П.А. Широкополосные и узкополосные сигналы в радиолиниях декаметрового диапазона волн // Морская радиоэлектроника. 2020. № 2 (72). С. 32-37.

31. www.radioscanner.ru/info/article418 «Пик-фактор в КВ ОБП». (Опубл. 25.05.2010 г.). (Дата обращения 20.11.2020 г.).

32. Коржик В.И., Финк Л.М., Щелкунов К.Н. Расчёт помехоустойчивости систем передачи дискретных сообщений. – Москва: Радио и связь, 1981. – 231 с.

33. Каплун Д.И., Клионский Д.М., Олейник А.Л., Вознесенский А.С., Жукова Н.А., Гульванский В. В., Петровский А. А. Применение полифазных банков фильтров в задачах мониторинга широкого частотного диапазона // Известия вузов России. Радиоэлектроника. 2013. Вып. 3. С. 38-43.

34. Стейн С., Джонс Дж. Принципы современной теории связи и их и их применение к передаче дискретных сообщений. М.: Издательство «Связь». 1971. – 374 с.

35. Пискунов Н.С. Дифференциальное и интегральное исчисления для ВТУЗов. Том 2. – Москва: Наука, 1985. – 549 с.

36. Тамразян Г.М. Программно-аппаратная реализация оптимального алгоритма декодирования каскадных кодов на базе кода Рида-Соломона в адаптивных системах обмена данными. Диссертация на соискание уч. ст. канд. техн. наук. Ульяновск: УГТУ, 2017. 139 с.

37. Мак-Вильямс Ф. Дж., Слоэн Н. Дж. А. Теория кодов, исправляющих ошибки. М.: Связь, 1979.

38. Блэйхут Р. Теория и практика кодов, контролирующих ошибки. – М.: Мир, 1986.

39. Блох Э.Л., Зяблов В.В. Линейные каскадные коды. – М.: Наука, 1982. – 229 с.

References

1. Nikolashin Yu.L., Budko P.A., Zhukov G.A. The main directions of modernization of the decimeter communication system. *Means of Communication Equipment*, 2019, no. 1 (145), pp. 13-25 (in Russian).

2. Budko P.A., Zhukov G.A., Kuleshov I.A., Nikolashin Yu.L. Metodi i kanali upravleniya robototekhnicheskimi kompleksami morskogo bazirovaniya v geterogennoy srede [Methods and channels for controlling marine-based robotic complexes in a heterogeneous environment]. *Robototekhnika i tekhnicheskaya kibernetika* [Robotics and technical cybernetics]. 2017, no. 4 (17), pp. 28-40 (in Russian).

3. Lazorenko V.S., Vataf S.A., Pankov D.V. O razvitii setey vedomstvennoy dekametrovoy radiosvyazi s uchetom eyo znachimosti pri sozdaniy sistemiy svyazi Arkticheskoy zonyi [On the development of departmental decimeter radio communication networks taking into account its significance in the creation of the communication system of the Arctic zone]. *Materialy III Mezhdunarodnoy NTK «Radiotekhnika, elektronika i svyaz» (REiS-2015)* [Materials of the III International STC "Radio Engineering, Electronics and Communications" (REiS-2015)]. Omsk, 2015, pp. 64-68 (in Russian).

4. Dolgopolov A.V., Bogdanov S.A. Evolyutsiya form i sposobov vedeniya vooruzhennoy borbyi v setetsentricheskikh usloviyakh [Evolution of forms and methods of conducting armed struggle in network-centric conditions]. *Military thought*, 2011, no. 2, pp. 49-58 (in Russian).

5. Annenkov V.I., Baranov S.N., Moiseev V.F., Kharkhalup S.S. *Setetsentrizm: geopoliticheskie i voenno-politicheskie aspektyi sovremennosti* [Network centrism: geopolitical and military-political aspects of modernity]. Moscow, RUSAVIA Publ., 2013, 496 p. (in Russian).

6. Nikolashin Yu.L., Miroshnikov V.I., Budko P.A., Zhukov G.A. Avtomatizirovannyiy, sluhovoy i vizualnyiy priyom korotkikh soobscheniy na udalyonnykh morskikh ob'ektakh [Automated, auditory and visual reception of short messages on remote marine objects]. *Marine Radio Electronics*, 2017, no. 3 (61), pp. 34-39 (in Russian).

7. Kuzevanov V.I., Lavrukhin V.A. *Proektirovaniye avtomatizirovannykh kompleksov svyazi korably VMF* [Design of automated communication systems for Navy ships: Methods and techniques]. St. Petersburg, "Elmore" Publ., 2009, 232 p. (in Russian).

8. Nikolashin Yu.L., Miroshnikov V.I., Budko P.A., Zhukov G.A. Kognitivnaya sistema svyazi i vliyaniye ispolzovaniya dannykh monitoringa na pomehoustoychivost sverhuzkopolosnykh dekametrovykh radiolinii [Cognitive communication system and the influence of the use of monitoring data on the noise immunity of ultra-narrowband decimeter radio lines]. *Marine Radio Electronics*, 2015, no. 2 (52), pp. 16-22 (in Russian).

9. Official website of JSC "ONIIP" / <http://www.oniip.ru/produkcia>. Accessed 25.02.2021.

10. Stupnitsky M.M., Luchin D.V. Potentsial KV-radiosvyazi – dlya sozdaniya tsifrovoy ekosistemyi Rossii [The potential of KV-radio communication-for creating a digital ecosystem in Russia]. *Ectrosvyaz*, 2018, no. 5, pp. 49-54 (in Russian).

11. Nikolashin Yu.L., Miroshnikov V.I., Budko P.A., Zhukov G.A. Territorialno-raznesyonnyiy priyom informatsii ot globalno-peremeschayushih ob'ektov morskogo bazirovaniya [Territorially-dispersed reception of information from globally-moving sea-based objects]. *Marine Radio Electronics*, 2017, no. 4 (62), pp. 18-23 (in Russian).

12. Luzan Yu.S., Khmyrova N.P. Adaptivnaya radiosvyaz v DKM diapazone chastot, sovremennoe sostoyaniye i tendentsii razvitiya [Adaptive radio communication in the DCM frequency

range, current state and development trends]. *Radio Communication Technology*, 2008, no. 13, pp. 3-24 (in Russian).

13. Guk I.I., Putilin A.N., Sirotinin I.V., Khvostunov Yu.S. Adaptivnaya sistema dekametrovoy radiosvyazi s polnodiapazonnoy perestroykoy rabochey chastoty i predvaritelnyie rezultaty trassovyih ispytaniy ee fragmenta [Adaptive system of decameter radio communication with full-range tuning of the operating frequency and preliminary results of route tests of its fragment]. *Materialy VII Mezhhregionalnoy konferentsii «Informatsionnaya bezopasnost regionov Rossii» (IBRR-2011)* [Proceedings of the VII Interregional Conference "Information Security of the regions of Russia" (IBRD-2011)]. St. Petersburg, FSUE "NPO "Impulse" Publ., 26-28.10.2011, pp. 32-35 (in Russian).

14. Puksa D.O., Romanov Yu.V. Rezultaty trassovyih ispytaniy adaptivnoy paketnoy KV-radiolinii vyisokoskorostnoy peredachi dannyih faylovogo tipa razrabotki OAO «ONIP» [Results of route tests of adaptive packet HF radio line of high-speed data transmission of file type developed by JSC "ONIP"]. *Materialy III Mezhdunarodnoy NTK «Radiotekhnika, elektronika i svyaz» (REIS-2015)* [Materials of the III International STC "Radio Engineering, Electronics and Communications" (REIS-2015)]. Omsk, 2015, pp. 186-192 (in Russian).

15. Makarenko S.I., Ivanov M.S., Popov S.A. *Pomehozaschischennost sistem svyazi s psevdosluchaynoy perestroykoy rabochey chastoty* [Noise immunity of communication systems with pseudo-random adjustment of the operating frequency]. St. Petersburg, *Svoe izdatel'stvo* [Your own publishing house]. 2013, 166 p. (in Russian).

16. Gordeychuk A.U., Dvornikov S.V., Ivanov V.A., Rusinov M.A. Otsenka pomehozaschischennosti liniy radiosvyazi v rezhime s medlennoy programmnoy perestroyki rabochey chastoty [Semisotano the Estimation of noise immunity of the radio mode with slow software adjustment of the operating frequency]. *Proceedings of Telecommunication Universities*, 2017, V. 3, no. 4, pp. 36-42 (in Russian).

17. Romanov Yu.V. Evolyutsiya vyisokoskorostnyih KV-radiomodemov v XX veke [Evolution of high speed HF radio modems in the twentieth century]. *Radio communication technology*, 2016, № 1 (28), pp. 72-88 (in Russian).

18. Sosnovskaya N.C., Arieovich B.N. Kogerentnoe slozhenie raznesYonnyih signalov s predvaritelnyim vzveshivaniem portsialnyih kanalov [Posted coherent addition of signals with advanced weighing partially channels]. *Means of Communication Equipment. Ser. Radio communication technology*, 1981, rel. 10 (29), pp. 49-56 (in Russian).

19. Zhukov G.A. Metodyi vesovoy mazhoritarnoy obrabotki diskretnoy informatsii pri priYome po parallelnyim kanalam [Methods of weight majority processing of discrete information when receiving on parallel channels]. *Means of Communication Equipment. Ser. Wired Communication Eechnology*, 1983, rel. 8, pp. 74-84 (in Russian).

20. Fink L.M. *Teoriya peredachi diskretnyih soobscheniy* [Theory of transmission of discrete messages]. Moscow, Soviet Radio Publ., 1970, 727 p. (in Russian).

21. Varakin L.E. *Sistemyi svyazi s shumopodobnyimi signalami* [Communication systems with noise-like signals]. Moscow, Radio and Communication Publ., 1985 – 385 p. (in Russian).

22. Kupriyanov A.I. *Radioelektronnaya borba* [Radioelectronic struggle]. Moscow, Vuzovskaya kniga, 2013, 359 p. (in Russian).

23. Lipatnikov V.A., Tsarik O.V. *Metodyi radiokontrolya. Teoriya i praktika* [Methods of radio control. Theory and practice]. St. Petersburg, GNI "Natsrazvitie" Publ., 2018, 607 p. (in Russian).

24. Tsikin I.A. *Diskretno-analogovaya obrabotka signalov* [Discrete-analog signal processing]. Moscow, Radio and Communication Publ., 1982, 161 p. (in Russian).

25. Pimenov P.N. *Metod otsenki pomehoustoychivosti sredstv shirokopolosnogo radiodostupa k vozdeystviyu sverhkorotkih elektromagnitnyih impulsov* [Method for assessing the noise immunity of broadband radio access devices to the effects of ultrashort electromagnetic pulses]. Dissertation of the Candidate of Technical Sciences, Moscow, 2015, 133 p. (in Russian).

26. Nikolashin Yu.L., Budko P.A., Zholdasov E.S., Zhukov G.A. Povyishenie effektivnosti funktsionirovaniya dekametrovyih radiolinii [Improving the efficiency of functioning of decameter radio lines]. *T-Comm: Telecommunications and transport*, 2015, no. 2, pp. 4-10 (in Russian).

27. Voronov A.V., Prikhodko V.Yu. Otsenka vliyaniya fazovogo spektra pri formirovani signala v mnogochastotnom rezhime [Assessment of the influence of the phase spectrum in the formation of a signal in a multi-frequency mode]. *Proceedings of the Russian Universities: Radioelectronics*, 2013, no. 6, pp. 23-26 (in Russian).

28. Doppler sounding of the Ionosphere – latest Doppler shift spectrograms by IAP. <http://ok1dub.cz/ok0eu/index.php?view=42> (Accessed 28.05.2020).

29. <https://www.ruqrz.com> "Working in QRSS mode". (Published on 24.11.2014). (Accessed 20.11.2020).

30. Zhukov G.A., Budko P.A. Shirokopolosnyie i uzkopolosnyie signalyi v radiolinyah dekametrovogo diapazona voln [Broadband and narrowband signals in radio lines of the decimeter wave range]. *Marine Radio Electronics*, 2020, no. 2 (72), pp. 32-37 (in Russian).

31. www.radioscanner.ru/info/article418 "Peak factor in KV OBP". (Published 25.05.2010). (Accessed 20.11.2020).

32. Korzhik V.I., Fink L.M., *Raschyot pomehoustoychivosti sistem peredachi diskretnykh soobscheniy* [Shchelkunov K. N. Calculation of noise immunity of discrete message transmission systems]. – Moscow, Radio and Communications Publ., 1981, 231 p. in Russian).

33. Kaplun D.I., Klionsky D.M., Oleynik A.L., Voznesensky A.S., Zhukova N. A., Gulvansky V.V., Petrovsky A. A. Primenenie polifaznykh bankov filtrov v zadachah monitoringa shirokogo chastotnogo diapazona [Application of polyphase filter banks in wide frequency range monitoring tasks]. *Proceedings of the Russian Universities: Radioelectronics*, 2013, rel. 3, pp. 38-43 (in Russian).

34. Stein S., Jones J. *Printsipyi sovremennoy teorii svyazi i ih primenenie k peredache diskretnykh soobscheniy* [Principles of modern communication theory and their application to the transmission of discrete messages]. Moscow, Connection Publ., 1971, 374 p. (in Russian).

35. Piskunov N.S. *Differentsialnoe i integralnoe ischisleniya dlya VTUZov. Tom 2.* [Differential and integral calculus for higher education institutions. Vol. 2.]. Moscow, Nauka Publ., 1985, 549 p. (in Russian).

36. Tamrazyan G.M. *Programmno-apparatnaya realizatsiya optimalnogo algoritma dekodirovaniya kaskadnykh kodov na baze koda Rida-Solomona v adaptivnykh sistemah obmena dannyimi* [Software and hardware implementation of the optimal algorithm for decoding cascade codes based on the Reed-Solomon code in adaptive data exchange systems]. Dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences, Ulyanovsk, UGTU, 2017, 139 p. (in Russian).

37. Mac-Williams F.J., Sloan N. John A. *Teoriya kodov, ispravlyayuschiy oshibki* [The theory of error-correcting codes]. Moscow, World Publ., 1979 (in Russian).

38. Blahut R. *Teoriya i praktika kodov, kontroliruyuschiy oshibki* [Theory and practice of codes that control errors]. Moscow, World Publ., 1986 (in Russian).

39. Bloch E.L., Zyablov V. *Lineynye kaskadnyie kodyi* [Linear cascade codes]. Moscow, Nauka publ., 1982, 229 p. (in Russian).

Статья поступила 2 марта 2021 г.

Информация об авторах

Николашин Юрий Львович – Кандидат технических наук. Генеральный директор ПАО «Интелтех». Тел.: +7(812)295-66-66. E-mail: intelteh@inteltech.ru.

Будко Павел Александрович – Доктор технических наук, профессор. Ученый секретарь ПАО «Интелтех». Тел. +7(812)448-95-97. E-mail: budko62@mail.ru.

Жуков Геннадий Анатольевич – Кандидат технических наук, доцент. Советник генерального конструктора ПАО «Интелтех». Заслуженный конструктор Российской Федерации. Тел. +7(812)448-96-16. E-mail: zhukovGA@inteltech.ru.

Угрик Лариса Николаевна – Кандидат технических наук. Старший научный сотрудник. Тел. +7(812)448-96-16.

Адрес: 197342, Россия, Санкт-Петербург, Кантемировская ул., д. 8.

A new direction for creating noise-resistant radio lines in the decameter wave range

Yu.L. Nikolashin, P.A. Budko, G.A. Zhukov, L.N. Ugrik

Annotation. Problem statement: the article proposes methods for bringing data to remote objects using parallel transmission of ultra-narrowband signals in the mode of tuning the operating frequencies according to a pseudo-random law. **The purpose of the work:** to increase the efficiency of the operation of radio lines in the decameter wave range. **Methods used:** methods of the theory of potential noise immunity, methods of designing multi-channel modems (multi-channel receiving and transmitting equipment), technologies for building reprogrammable radio devices and cognitive radio systems, optimal algorithms and methods of joint signal processing in parallel reception, methods for reducing the peak factor of the signal in decameter radio channels, methods of encoding and decoding information. **Novelty:** development of methods for detecting and receiving ultra-narrowband signals, including reception in conditions of accidental and intentional interference; introduction of the conceptual apparatus of a class of ultra-narrow-band radio signals, the frequency band of which is significantly less than the frequency band of the Doppler shift in the ionospheric layers during the long-range propagation of radio waves. **Results:** the analysis of the applicability of broadband and narrowband signals is carried out, and their noise immunity is evaluated in comparison with the proposed ultra-narrowband radio signals. A method for the stable transmission of short data blocks over channels with variable parameters, which include radio channels of the decameter wave range, is proposed. This method includes an algorithm for parallel transmission of ultra-narrowband signals in the mode of tuning the operating frequencies according to the pseudorandom law and an algorithm for parallel reception and demodulation of the message bits, taking into account the Doppler shift of the operating frequency at the receiving point. The schematic implementation of the radio transmitting and receiving complexes of the formed radio line is given. The features of receiving ultra-narrowband signals under various types of modulation under conditions of random and intentional interference are considered. **Practical significance:** the structure of the radio control line with the extension of the operating frequency range to the region of ultrashort waves is proposed, which makes it possible to provide reception in a complex interference environment at any real value of the optimal operating frequency, including in the case of anomalous ionization of the ionosphere at high Arctic latitudes. The approaches and principles of building radio systems described in the article allow us to implement low-energy radio lines of a new class, built on the basis of message transmission by the method of parallel bitwise radiation of ultra-narrowband signals.

Keywords: broadband signals, narrowband signals, multichannel excitatory device, multichannel radio receiver, cascade coding schemes, Doppler effect in the ionosphere.

Information about Authors

Yuri L. Nikolashin – Candidate of Technical Sciences. General Director of PJSC "Inteltech". Tel.: +7(812)295-66-66. E-mail: intelteh@inteltech.ru

Pavel A. Budko – Doctor of Technical Sciences, Professor. Scientific Secretary of PJSC "Inteltech". Tel. +7(812)448-95-97. E-mail: budko62@mail.ru.

Gennady A. Zhukov – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor. Advisor to the General Designer of PJSC "Inteltech". Honored Designer of the Russian Federation. Tel. +7(812)448-96-16. E-mail: zhukovGA@inteltech.ru.

Larisa N. Ugrik – Candidate of Technical Sciences. Associate Professor. Tel. +7(812)448-96-16.

Address: 8 Kantemirovskaya str., 197342, Saint Petersburg, Russia.

Для цитирования: Николашин Ю.Л., Будко П.А., Жуков Г.А., Угрик Л.Н. Новое направление создания помехоустойчивых радиолиний декаметрового диапазона волн // Техника средств связи. 2021. № 1 (153). С. 2-26.

For citation: Nikolashin Yu.L., Budko P.A., Zhukov G.A., Ugrik L.N. A new direction for creating noise-resistant radio lines in the decameter wave range. Means of communication equipment. 2021. No 1 (153). Pp. 2-26 (in Russian).

СИСТЕМЫ СВЯЗИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ

УДК 621.376.9, 004.942, 519.876.5

Помехоустойчивость трехмерной симплекс решетки

Путилин А.Н., Шаптала В.С.

Аннотация: В статье ставится задача рассмотреть сигнальное созвездие на основе трехмерной симплекс решетки, которое может быть представлено как последовательность комплексных символов. **Целью работы** является создание модели системы передачи данных, которая использует предложенную сигнальную конструкцию и ее тестировании в каналах связи. При моделировании используются методы проекционной геометрии и теории обработки сигналов. **Новизна предлагаемого решения** состоит в предложенном способе демодуляции, основанном на максимально правдоподобном восстановлении точки в трехмерном пространстве. **К результатам работы** следует отнести создание модели системы передачи данных, которая функционирует в вычислительной среде технических расчетов MATLAB. **Практическая значимость работы** заключается в том, что определены границы применимости рассматриваемого сигнального созвездия, его достоинства и недостатки. **Представлены результаты моделирования** помехоустойчивости модуляции в канале с аддитивным белым гауссовским шумом при использовании различного количества канальных символов. Проведено сравнение трехмерной симплекс модуляции с фазовой и квадратурно-амплитудной модуляцией.

Ключевые слова: модуляция, сигнальное созвездие, симплекс решетка, помехоустойчивость.

Введение

Статья объединяет и уточняет результаты описанные в [1-4]. Рассмотрим трехмерное сигнальное созвездие 3DST (3-Dimensional Simplex Trellis) из $M = m^3$ точек 3DST- M , где m количество позиций на каждой из осей: абсцисс, ординат и аппликат. Расстояния между позициями для всех осей совпадают. Область возможных значений точек сигнального созвездия, см. рис. 1, сгруппирована внутри куба, начало координат которого смещено в его центр.

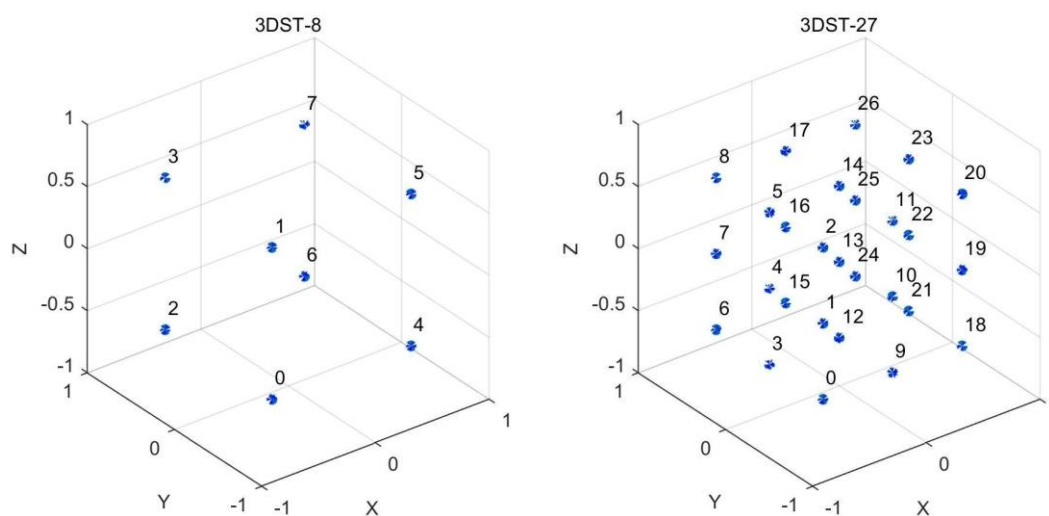


Рис.1. 3DST-8 и 3DST-27

Необходимо обратить внимание, что для значений m , равных степени двойки возможно применение оптимального манипуляционного кода, как для амплитудной модуляции [5], независимо по каждой из трёх осей $3DST-M$.

Комплексное представление сигнального созвездия

Для использования $3DST-M$ созвездия в реальных системах передачи данных необходимо перейти от трехмерного созвездия к комплексному представлению сигнала на I/Q плоскости, чтобы в дальнейшем оперировать действительным сигналом.

Главной диагональю куба называются отрезок, соединяющий его наиболее удаленные вершины. Таких диагоналей в кубе четыре штуки. Определим двумерные проекции $2DST$ (*2-Dimensional Simplex Trellis*) точек созвездия $3DST-M$ на плоскости, перпендикулярные главным диагоналям куба $2DST-M-N$, где $N = 1, 2, 3, 4$. У каждой проекции существует её зеркальный инвариант, образующийся при переходе точки наблюдения через проецируемую плоскость. Какую из двух проекций выбрать не имеет значения, но важно чтобы точка наблюдения была со стороны одной половины куба для всех проекций. В этом случае каждая точка проекции $2DST-M-N$ определяет собой один канальный символ в комплексной форме.

На рис. 2 приведены все проекции для созвездия $3DST-27$. Значения точек пронумерованы в соответствии с трехмерным созвездием и обозначены разным цветом и положением для различных проекций. Проекции значений точек по осям абсцисс и ординат представляют собой синфазную и квадратурную составляющую формируемого сигнала. Расстояния между точками в созвездии $3DST$ подобраны таким образом, что гексагональные решетки его проекций вписаны в единичную окружность.

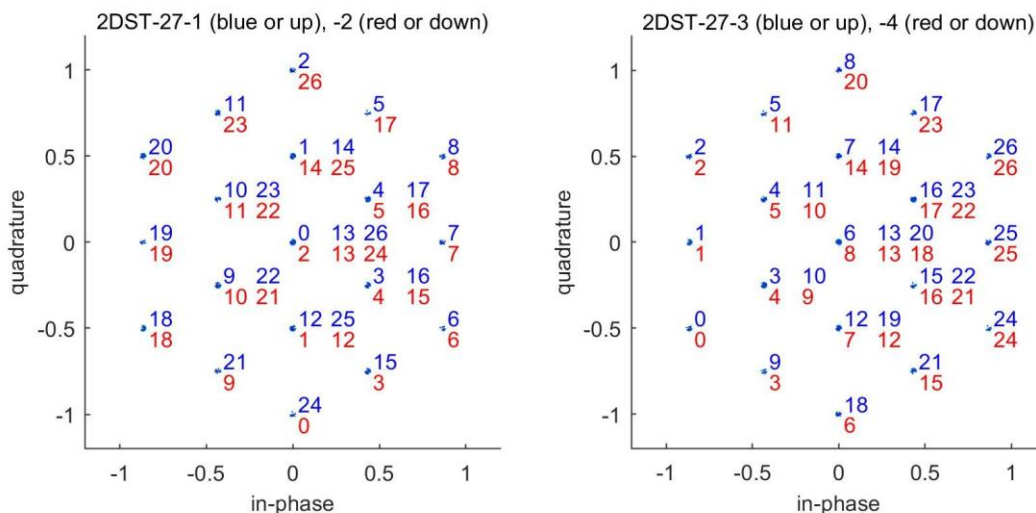


Рис. 2. Проекции созвездия $3DST-27$

Важно обратить внимание на то, что точки, расположенные в направлении главной диагонали, на проекции сливаются в одну. Так в центре на главной диагонали сливаются три точки, далее две, а на краю проекции слияние отсутствует. Это свойство приводит к уменьшению средней энергии сигнала с увеличением количества точек в созвездии, как представлено на рис. 3.

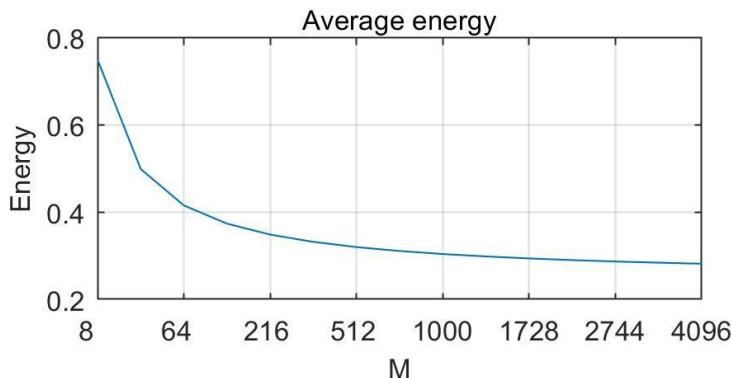


Рис. 3. Средняя энергия созвездий 3DST-M

Демодуляция

Демодуляция рассматриваемого созвездия состоит в максимально правдоподобном восстановлении точки в трехмерном пространстве по принятым канальным символам, для чего необходим анализ, по крайней мере, двух канальных символов, но можно использовать три или четыре символа. Использование большего количества канальных символов эквивалентно использованию кода, корректирующего ошибки. В зависимости от количества используемых канальных символов 3DST-M, будем обозначать 3DST-M-N, где $N = 2, 3, 4$. Разное количество используемых канальных символов снижает скорость передачи в 2, 3 или 4 раза соответственно. Единичным элементом сигнала будем называть совокупность канальных символов длиной N .

Рассмотрен следующий вариант алгоритма демодуляции: в трехмерном пространстве для каждого принятого канального символа строятся прямые параллельные главным диагоналям куба и в созвездии 3DST-M находится точка с наименьшим евклидовым расстоянием до всех прямых.

На рис. 4 изображены все точки созвездия 3DST-27, отрезки параллельные главным диагоналям, восстановленные по четырем канальным символам точки 13 и евклидовы расстояния от принятых отрезков до всех точек трехмерного созвездия 3DST-27-4. Результаты получены в условиях отсутствия шума.

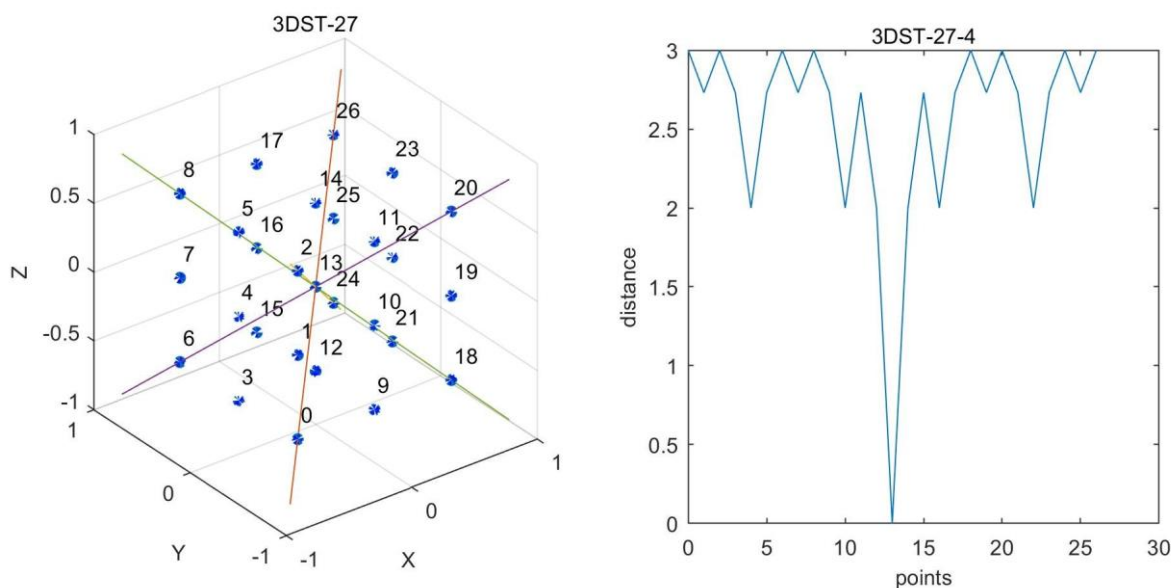


Рис. 4 Трехмерное созвездие и расстояния от принятой точки до всех точек созвездия

Помехоустойчивость созвездия

В пакете прикладных программ для решения задач технических вычислений *MATLAB* выполнено имитационное моделирование функционирования системы связи с созвездием *3DST-M* в канале с аддитивным белым гауссовским шумом. Добавление шума происходит на фазовой плоскости. Моделирование выполнено для значений $m = 2, 3, \dots, 16$. Результаты моделирования для определенных значений представлены на рис. 5-9.

Виды модуляции сравниваются между собой при равных или близких значениях бит в единичном элементе сигнала, который в традиционных видах модуляции состоит из одного канального символа, а в рассматриваемом из нескольких символов. Вероятность ошибки на бит (*BER – Bit Error Rate*) определяется на длительности в один миллион единичных элементов сигнала. При задании уровня шума учитывается средняя энергия созвездия. Отношение сигнал/шум (E_b/N_0) означает что шум нормирован к энергии одного бита.

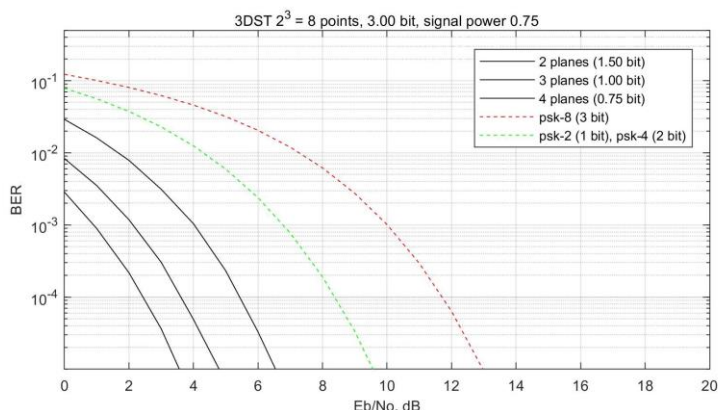


Рис. 5. 3DST-8



Рис. 6. 3DST-27

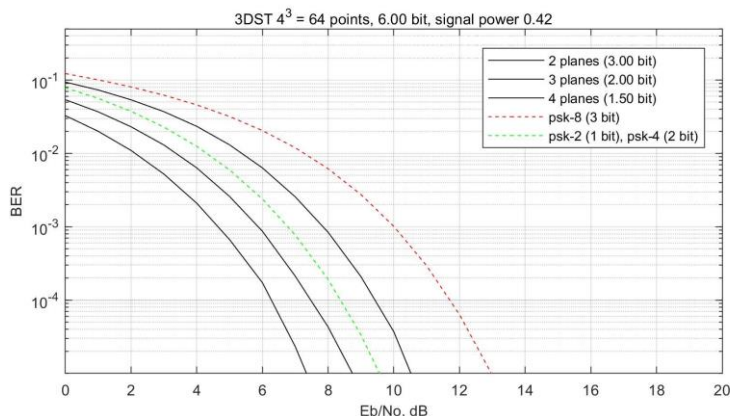


Рис. 7. 3DST-64

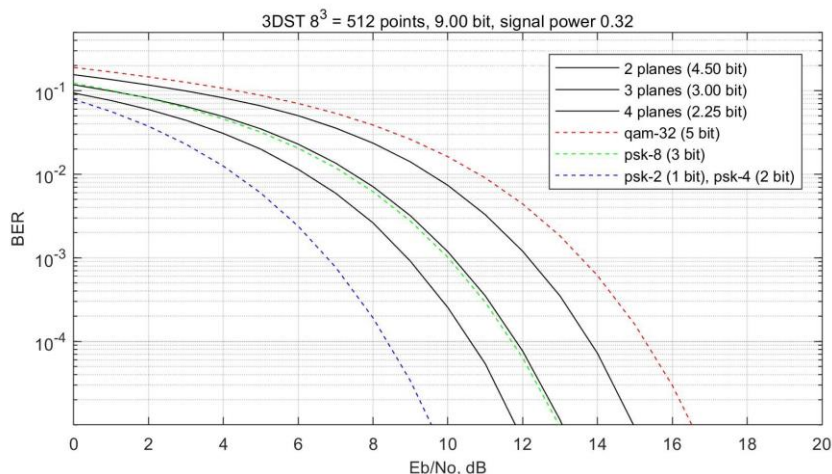


Рис. 8. 3DST-512

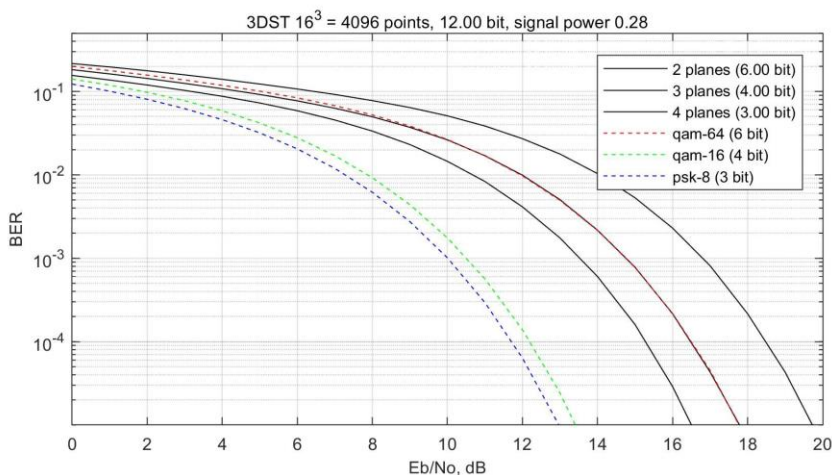


Рис. 9. 3DST-4096

На рис. 10-14 кривые помехоустойчивости повторяют рис. 5-9 при условии, что отношение сигнал/шум (E_s/N_0) нормировано к энергии единичного элемента сигнала.

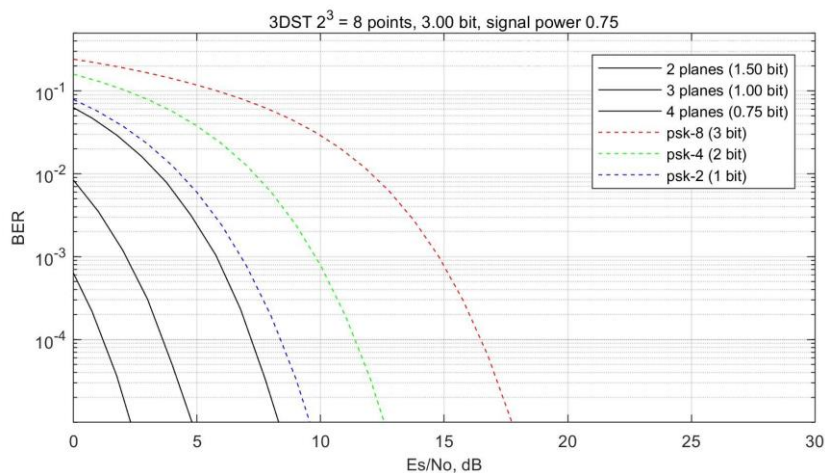


Рис. 10. 3DST-8

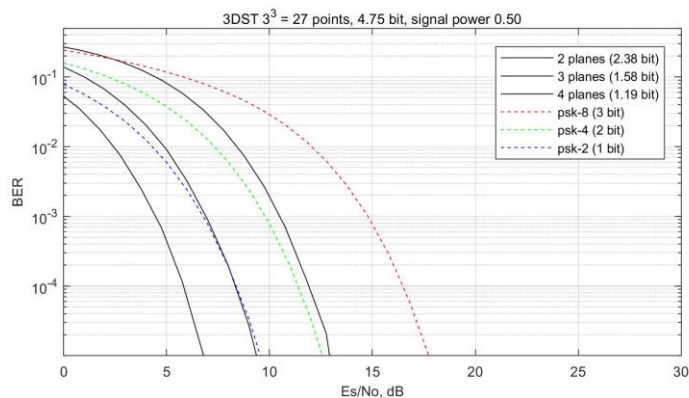


Рис. 11. 3DST-27

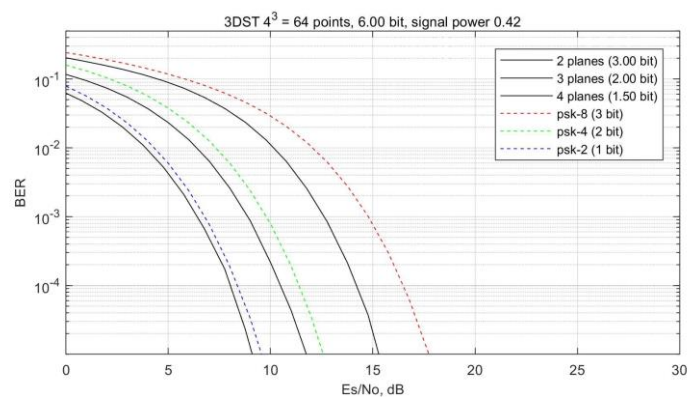


Рис. 12. 3DST-64

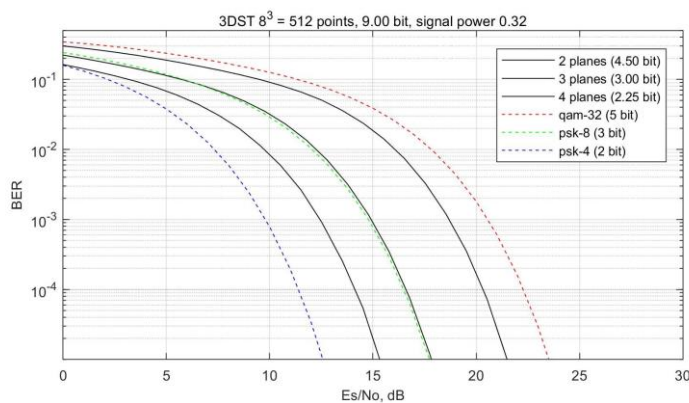


Рис. 13. 3DST-512

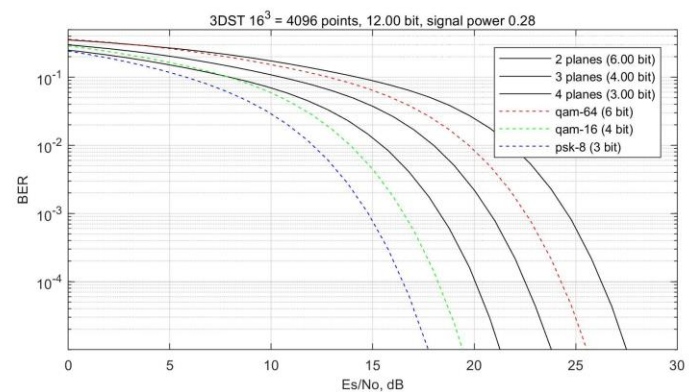


Рис. 14. 3DST-4096

Выводы

К достоинствам трехмерной симплекс решетки можно отнести:

1. Использование большого количества проекций эквивалентно использованию помехоустойчивого кода без эффекта размножения ошибок.

2. Изменение числа передаваемых в канал проекций позволяет без изменения структуры созвездия регулировать её помехоустойчивость.

3. Демодулятор допускает эффективную реализацию с мягкими решениями на выходе, которые могут быть переданы, например, в помехоустойчивый декодер. Эффективность использования мягких решений возрастает при увеличении количества проекций.

4. Восстановление переданной точки созвездия в трёхмерном пространстве обеспечивает высокую помехоустойчивость. Для значений m , равных степени двойки помехоустойчивость созвездий увеличивается за счет оптимального манипуляционного кодирования.

5. Тяготение к формированию двумерных векторов с малой амплитудой и использование самой плотной на плоскости гексагональной укладки, обеспечивает высокую энергетическую эффективность сигнального созвездия.

6. Рассматриваемые созвездия обеспечивают возможность объединения нескольких потоков данных в единичном элементе сигнала. При необходимости для различных потоков может обеспечиваться различная помехоустойчивость за счёт использования иерархической манипуляции [1].

7. Созвездие $3DST-8$ эффективно использовать для работы на сильно зашумленных каналах связи, которые используются для высоконадежной, но низкоскоростной передачи данных. Хорошим примером таких каналов являются радиоканалы в коротковолновом диапазоне.

Недостатки рассматриваемого созвездия:

1. При значениях $M > 64$ использовать сигнальное созвездие нецелесообразно, поскольку при высоких отношениях сигнал/шум однократная передача сигнала КАМ становится более энергетически эффективна, чем передача даже только 2-х плотно упакованных ST вдвое большей размерности. При больших значениях M предлагаемый способ модуляции имеет те же характеристики, что и широко используемые виды модуляции с меньшей размерностью ансамбля сигналов.

2. Для большинства значений M созвездие содержит нецелое число бит, что усложняет его использование.

3. Рассматриваемый алгоритм демодуляции обладает высокой вычислительной сложностью, поскольку надо выполнять аффинные преобразования для построенных в пространстве прямых.

Литература

1. Путилин А.Н., Шаптала В.С. Иерархическое манипуляционное кодирование для сигнально-кодовой конструкции на основе трехмерной симплекс-решетки // Техника средств связи. 2019. №1. С. 164-169.

2. Путилин А.Н., Шаптала В.С. Моделирование эффективности сигнально-кодовой конструкции на основе трехмерной симплекс решетки // Сборник трудов всероссийской научно-технической конференции «Перспективы развития и совершенствования АСУ РВСН – принципы и технологии». Королев. 2017.

3. Путилин А. Н., Волкова А. В. Сигнально-кодовая конструкция на основе трёхмерной симплекс решетки // 12-я Международная конференция «Цифровая обработка сигналов и её применение» («DSPA-2010»). М. 2010.

4. Путилин А. Н. Радиосистемы с множественным доступом. Под ред. Чуднова А. М. – СПб.: ВАС, 1998. – 148 с.

5. Мешковский К.А., Кириллов И.Е. Кодирование в технике связи. - М.: Связь, 1966. – 324 с.

References

1. Putilin A.N., Shaptala V.S. Hierarchical manipulation coding for signal code constructs based on a three-dimensional simplex lattice. Means of communication equipment. 2019. No 1. Pp. 164-169 (in Russian).
2. Putilin A.N., Shaptala V.S. Modelirovanie jeffektivnosti signal'no-kodovoj konstrukcii na osnove trehmernoj simpleks reshetki. Sbornik trudov vsrossijskoj nauchno-tehnicheskoy konferencii «Perspektivy razvitiya i sovershenstvovaniya ASU RVSN – principy i tehnologii». Korolev. 2017 (in Russian).
3. Putilin A.N., Volkova A. Signal-code construction on the basis of the three-dimensional simplex-grid. Proceedings of the 12-th International Conference Digital Signal Processing and Its Applications. Moscow. 2010 (in Russian).
4. Putilin A. N. Radiosistemy s mnozhestvennym dostupom. Pod red. Chudnova A.M. Saint-Petersburg. VAS. 1998. 148 p. (in Russian).
5. Meshkovskij K.A., Kirillov I.E. Kodirovanie v tehnike svjazi. Moscow. Svjaz'. 1966. 324 p. (in Russian).

Статья поступила 3 марта 2021 г.

Информация об авторах

Путилин Алексей Николаевич – Доктор технических наук, профессор. Главный научный сотрудник ПАО «Интелтех». E-mail: putilinn@inteltech.ru.

Шаптала Василий Сергеевич – Кандидат технических наук. Начальник лаборатории ПАО «Интелтех». E-mail: shaptalavs@inteltech.ru.

Адрес: 197342, г. Санкт-Петербург, Кантемировская ул., д.8, тел. 8(812)448-19-01.

Bit error rate of a three-dimensional simplex trellis

A.N. Putilin, V.S. Shaptala

Annotation: The article *aims to consider a signal constellation based on a three-dimensional simplex trellis, which could be used as a sequence of complex symbols. The main goal of this work is to create a model of data transmission system, which uses the proposed signal constellation and its testing in communication channels. In modeling, methods of projective geometry and the theory of signal processing are used. The novelty of the proposed solution consists in the proposed method of demodulation, based on the most plausible reconstruction of a point in three-dimensional space. The results of the work should include the creation of a model of the data transmission system, which runs in MATLAB. The practical significance of the work consists in the fact that the limits of usability of the considered signal constellation are defined. The bit error rate of various modulation order over an additive white Gaussian noise channel are presented. The simplex-trellis modulation is compared with the phase and quadrature-amplitude modulation. The advantages and disadvantages of this modulation are defined.*

Keywords: modulation, signal constellation, simplex trellis, bit error rate.

Information about Authors

Aleksej Nikolaevich Putilin – Doctor of Technical Sciences, Professor. Chief scientific specialist PJSC “Inteltech”. E-mail: putilinan@inteltech.ru.

Vasily Sergeevich Shaptala – Candidate of Technical Sciences. Head of laboratory PJSC “Inteltech”. E-mail: shaptalavs@inteltech.ru.

Address: Russia, 197342, Saint-Petersburg, Kantemirovskaya street 8. Tel. 8(812) 448-19-01.

Для цитирования: Путилин А.Н., Шаптала В.С. Помехоустойчивость трехмерной симплекс решетки // Техника средств связи. 2021. № 1 (153). С. 27-34.

For citation: Putilin A.N., Shaptala V.S. Bit error rate of a three-dimensional simplex trellis. Means of communication equipment. 2021. No 1 (153). Pp. 27-34 (in Russian).

УДК 004.722

Децентрализованная система управления работой декаметровую радиосетью

Хвостунов Ю.С.

Аннотация: В статье рассматривается решение проблемы автоматизации управления работой декаметровой радиосетью, работающей в режиме псевдослучайной перестройки рабочей частоты. Одним из направлений повышения эксплуатационных характеристик радиосети часто предлагается применение ионосферно-волновой и частотно-диспетчерской службы, которая дополнительно усложняет систему радиосвязи, а также требует централизованного управления работой радиосети в целом. **Целью работы** является разработка алгоритмов установления соединения, обработки вызова и ведения сеанса связи, обеспечивающих возможность децентрализованного управления работой декаметровой радиосети без оперативного функционирования ионосферно-волновой и частотно-диспетчерской службы при одновременном достижении предельных характеристик по надёжности, пропускной способности, помехоустойчивости и помехозащищённости. **Используемые методы:** теоретический и практический заделы в области цифровой передачи данных по декаметровому каналу связи. **Новизна:** состоит в том, что предлагаются метод организации децентрализованного управления работой декаметровой радиосети. **Результат:** заключается в том, что предлагаются алгоритмы автоматического установления соединения, обработки вызова и ведения сеанса связи при децентрализованном управлении радиосетью в целом, обеспечивающих необходимые для автоматизированной системы Вооружённых Сил Российской Федерации вероятностно-временные характеристики в различных условиях эксплуатации. **Практическая значимость:** заключается в том, что предлагаемые алгоритмы позволяют поддерживать полностью автоматический режим ведения сеанса связи, децентрализованное управление работой декаметровой многоканальной радиосетью, исключить влияние человеческого фактора при одновременном обеспечении высоких вероятностно-временных характеристик.

Ключевые слова: декаметровая радиосвязь, псевдослучайная перестройка рабочей частоты, сигнальная конструкция, частотно-временная матрица, аппаратура передачи данных, автоматизированный стационарный радиоцентр, оконечное оборудование данных

Введение

Современный уровень развития Вооружённых Сил, коренные изменения в средствах и способах ведения войны выдвигают проблему адекватного совершенствования систем управления и связи. Анализ текущего состояния сетей декаметровой радиосвязи Вооружённых Сил Российской Федерации (ВС РФ) показывает, что в настоящее время данные системы не в полной мере обладают теми свойствами, которые требуются для автоматизированной системы управления (АСУ) ВС РФ:

- недостаточная надёжность установления и поддержания сеанса связи;
- сложный регламент назначения и распределения частотного ресурса между радиоцентрами организуемых радиосетей;
- в полной мере не решены проблемы: сокращения времени установления соединения, нехватки требуемой пропускной способности организованных сетей радиосвязи, обеспечения радиосетей требуемой помехоустойчивостью и помехозащищённостью;
- недостаточная автоматизация процессов управления радиоцентрами и радиосетью в целом, что с учётом человеческого фактора снижает эффективность боевого применения радиосредств;
- централизованное управление работой радиосети приводит к необходимости использования дополнительных технологических каналов связи.

В статье рассматриваются решения, направленные на устранение данных недостатков на примере построения системы декаметровой радиосвязи, применяющей режим

псевдослучайной перестройки рабочей частоты (ППРЧ) и использующей её уже отработанные технические характеристики [1] – отсутствие потерь времени на синхронизацию модемных посылок, анализ качества приёма по рабочему сигналу, адаптацию по рабочей частоте и сигнально-кодовой конструкции и минимальное время работы на одной рабочей частоте (РЧ).

Топологическая структуры радиосети.

Свойства предложенной структуры радиосети

Рассматриваемая система декаметровый радиосвязи с ППРЧ строится на основе общего частотно-временного расписания сети. При организации радиосети устанавливается пакет переключения РЧ, состоящий из N основных РЧ и набор запасных РЧ. Количество рабочих частот N в пакете переключения может принимать значения от 2-х и выше. Период переключения РЧ – $t_{пр}$.

Задача обеспечения синхронного переключения РЧ различных корреспондентов радиосети рассмотрена в [2]. В силу территориальной разнесенности корреспондентов особенностью радиосети является различное время распространения по радиоканалу (от 0 до 15 мс в пределах однокачковой трассы) между разными парами абонентов. Это обстоятельство накладывает следующие требования:

- либо необходимо вводить защитный интервал (величиной до 15 мс) при переключении РЧ (вариант 1);
- либо любая частота, использовавшаяся одним из корреспондентов, в течение следующего цикла времени никем не должен быть использована (вариант 2).

Каждый из вариантов имеет свои достоинства и недостатки. Вариант 1 позволяет организовать в радиосети больше в 2 раза количество независимых каналов связи, а вариант 2 обеспечивает большую пропускную способность для каждого организуемого радиоканала. Далее рассматривается второй вариант, где показан подход в организации группы независимых радиоканалов. Принцип организации многоканальной сети с использованием общего сетевого комплекта РЧ для варианта 1 аналогичен.

Для второго варианта N основных РЧ разделены на две равные части [3]. Первая половина частот используется в четные промежутки времени, а вторая – в нечетные. Последовательность переключения частот организуемого многочастотного канала формируется по значению генератора псевдослучайной последовательности (ПСП) поочередно из $N/2$ четных и $N/2$ условных нечетных номеров частот. Данное построение последовательности переключения РЧ позволяет организовать $N_{рч}/2$ независимых каналов связи. Последовательность переключения частот следующих каналов получается из первой последовательности при помощи фиксированного циклического смещения, соответствующего номеру канала. Возможный фрагмент частотно-временного расписания сети на примере $N = 32$ приведен на рис. 1 ($t_{пр} = 50$ мс).

Частотно-временное разделение в рассматриваемой радиосети строится с учетом алгоритмов адаптации радиочастот. Алгоритм адаптации по частотам действует только на протяжении сеанса связи. Исходными рабочими частотами всегда являются основные РЧ.

Решение о смене частоты принимается на приемной стороне и сообщается передающей в служебной части информационной кодограммы на «хороших» радиочастотах без прерывания обмена основной информацией. Если по какой-либо причине сообщение о смене частот до передающей стороне не дойдет, то при попытке работать на данной радиочастоте приемник ее бракует и дает команду перехода на следующую.

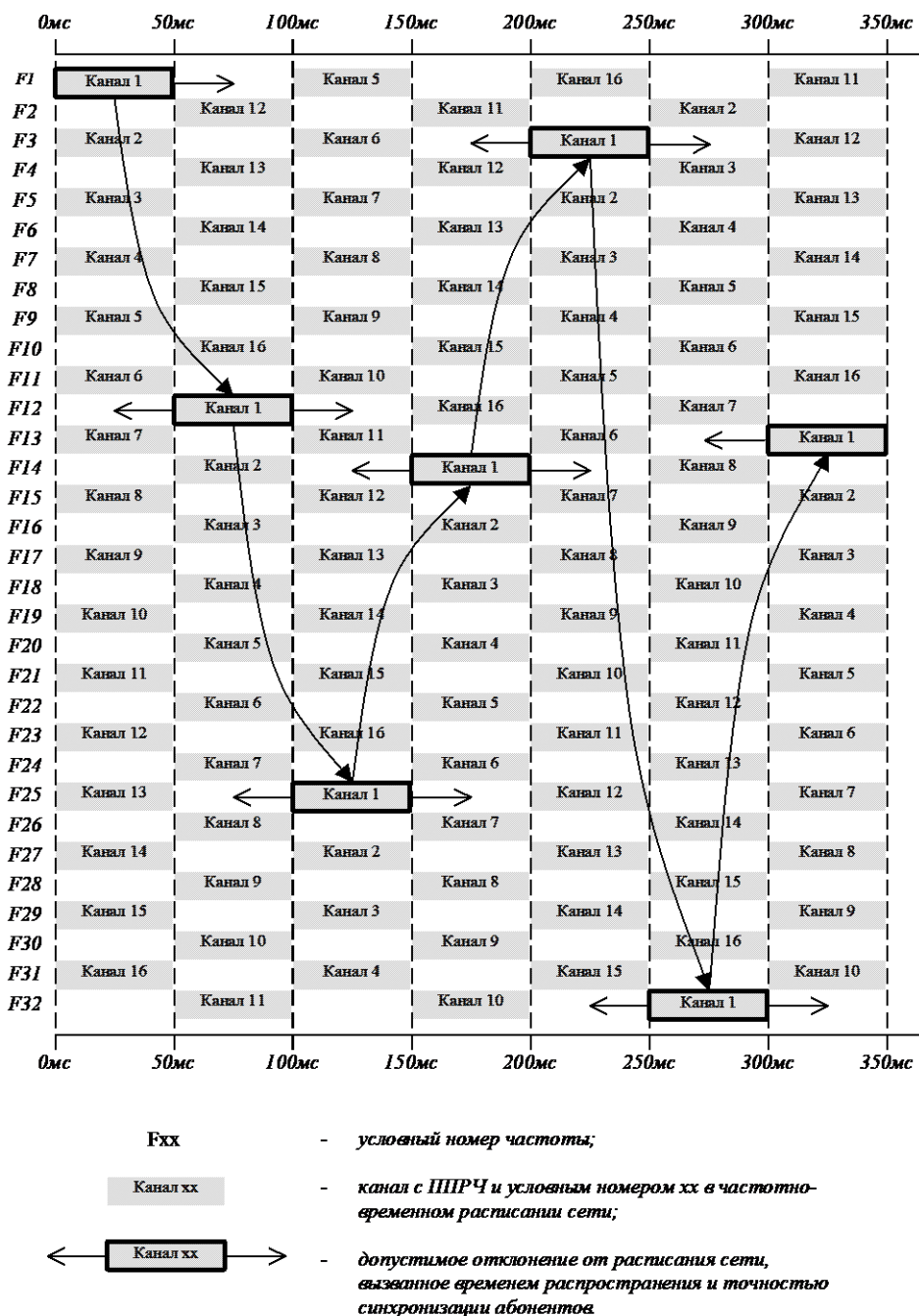


Рис. 1. Фрагмент частотно-временного расписания радиосети

Данное свойство организации группы независимых каналов связи, использующем один комплект РЧ, позволяет организовать полносвязанную одноранговую радиосеть с выделенным каналом управления [4, 1]. Топологическая структура радиосети с выделенным каналом управления показана на рис. 2.

Данная структура позволяет в радиосети организовать канал децентрализованного управления. Данный канал управления предназначен для:

- для установления соединения между любой парой автоматизированного стационарного радиоцентра (АСРЦ);
- передачи сообщений с высшим приоритетом;
- передачи циркулярных сообщений.

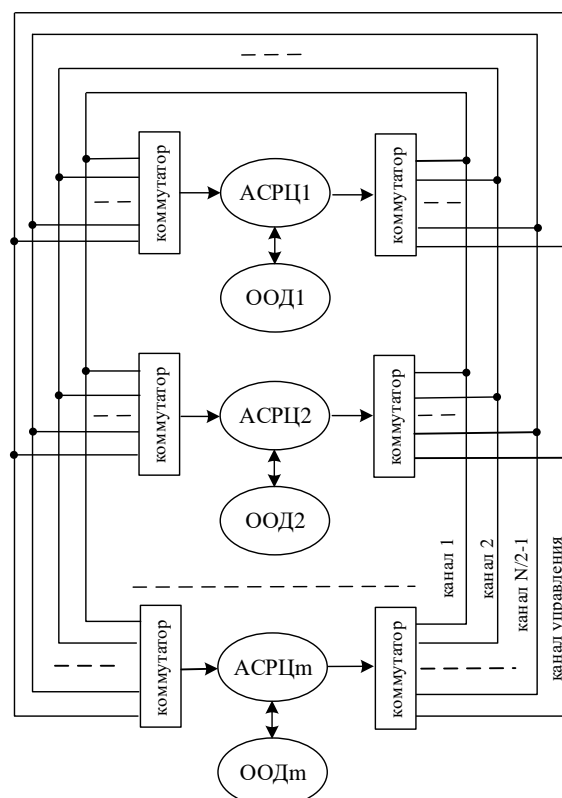


Рис. 2. Топологическая структура сети с каналом децентрализованного управления

Канал управления и остальные $N/2-1$ информационных каналов составляют общую каналную емкость организованной сети связи. Необходимо отметить, что для варианта 1 каналная емкость увеличивается до N радиоканалов (но каждый с меньшей предельной пропускной способностью).

Параметры организации радиосети с ППРЧ

Штатный режим работы рассматриваемой системы радиосвязи – режим радиомолчания. При организации радиосети всех АСРЦ централизованно устанавливается:

- штатно-адресная структура, включающая адреса всех абонентов сети;
- номера и номиналы начального пакета переключения (НПП) РЧ. Значения НПП РЧ организуемой радиосети является оригинальным, отличным от станций других сетей. Это позволяет обеспечить независимость работы отдельных радиосетей;
- ключ ПСП переключения РЧ;
- ключ организации имитовставки;
- номера и номиналы запасных РЧ радиосети (запасные РЧ могут для отдельных радиосетей частично совпадать);
- при необходимости взаимодействия с абонентами других радиосетей – их адреса, номера и номиналы РЧ начального набора в пакете переключения, номера и номиналы запасных РЧ.

Все станции находятся в режиме сетевой синхронизации, т. е. «внутренние часы» всех станций работают синхронно, и все радиоприемники станций синхронно переключают свои РЧ. Номера РЧ определяются генератором ПСП с установленным ключом, и соответствуют одной и той же строке частотно-временной матрицы (ЧВМ) (условно назовем её нулевой) для всех АСРЦ организованной радиосети. Данная строка ЧВМ отводится каналу управления. Режим сетевой синхронизации штатно устанавливается при вводе станции в эксплуатацию и поддерживается в течение всего времени эксплуатации [2].

Минимальное время работы на отдельной РЧ и псевдослучайный закон переключения РЧ не позволяют системам РЭП ставить помеху «вслед», а наличие имитовставки при установлении соединения исключает дезорганизацию работы сети.

Оперативная замена во время сеанса связи РЧ неудовлетворительного качества обеспечивает устойчивую работу отдельных направлений и сети радиосвязи в целом в условиях возмущённой ионосферы, диффузной многолучевости, стационарных, атмосферных и промышленных радиопомех.

Порядок назначения и распределения рабочих частот радиосети

Предполагается, что размеры района размещения радиосети не превышают величины однокачковой трассы КВ радиодиапазона (диаметр не более $3,0 \div 3,5$ тыс. км). Концепция назначения и распределения РЧ заключается в следующем:

- радиосеть обеспечивает полносвязанную структуру для всех АСРЦ (рис. 2);
- станции радиосети могут располагаться в любой точке района размещения;
- связь обеспечивается как для стационарных, так и для подвижных станций (используются АФУ с круговой диаграммой направленности);
- для обеспечения связи с более высокими характеристиками (высокая пропускная способность, высокая стойкость ко внешним помехам) наряду с всенаправленными АФУ допускается на выделенных направлениях использовать направленные АФУ.

Выделенные в соответствии с долгосрочным прогнозом и существующим регламентом назначения и распределения РЧ (основная, запасная и резервная) для отдельных направлений (радиосетей) формируемой подсети объединяются в общий пул РЧ. Формируется начальный пакет переключения РЧ, состоящий из суммы основных РЧ станций радиосети. Запасные и резервные РЧ составляют пул запасных РЧ.

Максимальное количество абонентов радиосети определяется из расчета возможной интенсивности взаимного обмена. Так при интенсивности обмена на одного абонента организуемой подсети 0,1 Эрл., максимальное количество корреспондентов подсети может составить до $M = 10 K_n$, где K_n – количество независимых каналов связи, одновременно организуемых в подсети. Рассматриваемая система КВ радиосвязи обеспечивает $N/2$ независимых каналов связи. Из этого следует, что $M = 5 N$. Так для варианта $N = 32$ возможна организация одновременно 16 независимых каналов связи в соответствии со строками частотно-временной матрицы при количестве обслуживаемых абонентов до 160. Общий требуемый частотный ресурс формируемой подсети составит до 128 РЧ по 32 РЧ каждого времени суток, что возможно обеспечить существующим регламентом. Для НПП отбираются основные дневные, ночные, переходные. Так для варианта $N = 32$, по 8 дневных, ночных, переходных, распределенных равномерно. Сумма остальных РЧ, выделяемых существующим регламентом (основных, запасных и резервных) для корреспондентов подсети составляют пул запасных РЧ в пакете переключения. Данный подход позволяет:

- упростить или отменить процедуру регулярной смены РЧ по времени суток (не исключено и года);
- обеспечить надежное установление и поддержание соединения абонентам организованных радиосетей, находящихся в разных условиях (день, ночь и т. д.) и на различных расстояниях (связь в «мертвой» зоне и вне её).

Выбор рабочих частот при установлении соединения и ведения сеанса связи

Необходимость увеличения пропускной способности передачи информации в КВ радиоканале приводит к необходимости использования РЧ более высокого качества. Так увеличение скорости с традиционной 75 бит/с до 2400 бит/с требует повышения соотношения сигнал/шум в канале связи в занимаемой сигналом полосе частот на 15 дБ. Повышение мощности радиопередатчика и использование более эффективных антенно-

фидерных устройств (АФУ) во многих применениях невозможно как по конструктивным ограничениям, так и по эксплуатационным и экономическим.

Таким образом, становится первоочередной задачей выбора во время сеанса связи из разрешенных рабочих частот требуемого качества. Долговременный прогноз данным требованиям удовлетворять не может, поэтому при организации связи вынуждены работать на наименьших скоростях, чтобы обеспечить приемлемую вероятность установления соединения. Но и в этом случае не удается, как правило, достичь требуемой вероятности соединения за заданное время. В данной ситуации для обеспечения заданных автоматизированными системами управления вероятностно-временными характеристиками (ВВХ) используют ионосферно-волновую и частотно-диспетчерскую службу (ИВ ЧДС). Анализ вариантов систем ионосферного зондирования показывает следующее.

Пост ИВ ЧДС, как правило, находится в удалении от приемного радицентра, использует свои антенные системы и свои оригинальные виды зондирующих радиосигналов. По этим причинам адекватно отследить помеховую обстановку и прохождение сигналов для конкретной радиолинии с необходимой точностью не представляется возможным. Поэтому данные обстоятельства не позволяют сделать вывод о возможности или невозможности работы на той или иной частоте. Кроме, того:

- для поддержания получаемых данных в актуальном состоянии требуется проводить зондирование выделенных РЧ с периодом 10 (для обеспечения высоких скоростей) ÷ 30 (для обеспечения более низких скоростей) минут [5], на что требуется выделять дефицитное эфирное время;

- полученные результаты зондирования необходимо своевременно и надежно рассылать всем корреспондентам организуемых направлений и сетей, что является задачей не менее сложной, чем передача информационных сообщений. При отсутствии альтернативных каналов связи (в основном проводных) данная задача является трудноразрешимой;

- работа системы ионосферного зондирования является ценным материалом для систем радиоэлектронного подавления (РЭП) и существенно повышает оперативность и эффективность ее функционирования.

Таким образом, становится первоочередной задачей выбора во время сеанса связи из разрешенных РЧ требуемого качества. Установление соединения и поддержания сеанса связи в режиме ППРЧ с адаптацией по РЧ и сигнально-кодовой конструкции позволяет обеспечить:

- в процессе установления и поддержания соединения оптимальный набор используемых для сеанса связи РЧ;

- высокую вероятность установления соединения (более 0,99);

- минимальное время установления соединения (менее 1 с);

- максимальную пропускную способность организованного канала связи (в канале тональной частоты до 7,2 – 9,6 Кбит/с);

- стойкость к системам РЭП.

Алгоритм установления соединения и ведения сеанса связи

Как указано в [2, 6] для достижения максимальной пропускной способности каждый канал приема комплектуется двухканальным радиоприемником. При ведении сеанса связи в случае необходимости данному корреспонденту передать срочное и более приоритетное сообщение каждый в каждом канале используется второй комплект двухканального радиоприемника. Данный вариант оснащения позволяет для каждого организуемого автоматизированного стационарного центра направления связи прервать текущий сеанс для

предоставления возможности получить срочное сообщение. Количество одновременно обслуживаемых направлений связи определяется составом АСРЦ.

Процедура установления соединения и поддержания сеанса связи начинается с получения адресной заявки от оконечного оборудования данных (ООД) на установление соединения. В заявке указывается информация о предлагаемых режимах работы (категория срочности, режим и скорость обмена, полоса и номер канала связи и др.). Количество одновременно обслуживаемых направлений связи определяется составом АСРЦ.

На рис. 3 показан алгоритм установления соединения и ведения сеанса связи. Для обслуживания одного направления связи АСРЦ оборудуется двумя двухканальными радиоприемниками. Данный вариант оснащения позволяет для каждого организуемого АСТЦ направления связи прервать текущий сеанс для предоставления возможности получить срочное сообщение. В режиме радиомолчания первый комплект радиоприемников переключает РЧ нулевой строки (канал управления, номер $i_T = 0$), а второй комплект переключает РЧ первой строки (информационный канал, номер $i_T = 1$) ЧВМ с набором из N РЧ.

При поступлении адресной заявки от ООД анализируется категория срочности сообщения. Для сообщения высшей категории срочности оценивается занятость нулевого канала, а случае его занятости занятость первого канала. Если занят и первый канал, то оператору сообщается об ожидании срочного сеанса. При освобождении любого из этих каналов происходит обмен приоритетным сообщением без установления соединения.

Для сообщений с более низким приоритетом проводится последовательный анализ занятости организованных сетью каналов связи (за исключением нулевого) начиная со случайного номера $i_T = k_{сл}$. При декодировании информации на части (например, более 15 %) РЧ этого канала канал считается занятым и осуществляется переход на прослушивание следующего канала ($i_T = k_{сл} + 1$). Если декодируется менее 15 % РЧ текущего канала он считается свободным. Данное свойство позволяет обеспечить работоспособность радиосети при постановке системой РЭП имитопомехи.

Если свободный канал не находится, то после нескольких попыток (каждая попытка равна $N/2 - 1$ раз) пройти по всем каналам (количество попыток устанавливается при организации сети либо оператором заранее) формируется в ООД сигнал «сеть занята».

При наличии свободного информационного канала и канала управления АСРЦ формирует адресную кодограмму установления соединения с указанием вызываемому АСРЦ проведения сеанса на найденном свободном канале.

Отсутствие за установленное время ответа на кодограмму установления соединения возможно из-за столкновения кадров (информационного или вызова) различных АРСЦ сети на канале управления. Повторная попытка вызова (анализ занятости канала управления), а при необходимости и больше (до k раз – устанавливается оператором при организации сети) позволяет решить данную проблему ввиду случайности времени анализа занятости канала управления и, как следствие, повторного формирования кодограммы установления соединения.

Отсутствие ответа после k -го вызова свидетельствует:

- о занятости сеансом связи вызываемого АСРЦ (формируется сообщение «абонент занят или выключен»);
- о неисправности аппаратуры вызывающего АСРЦ (формируется сообщение «авария аппаратуры»);
- вызывающий или вызываемый АСРЦ потеряли сетевой синхронизм. Это состояние определяется по отсутствию приема кадров по служебному каналу в течение заданного времени.

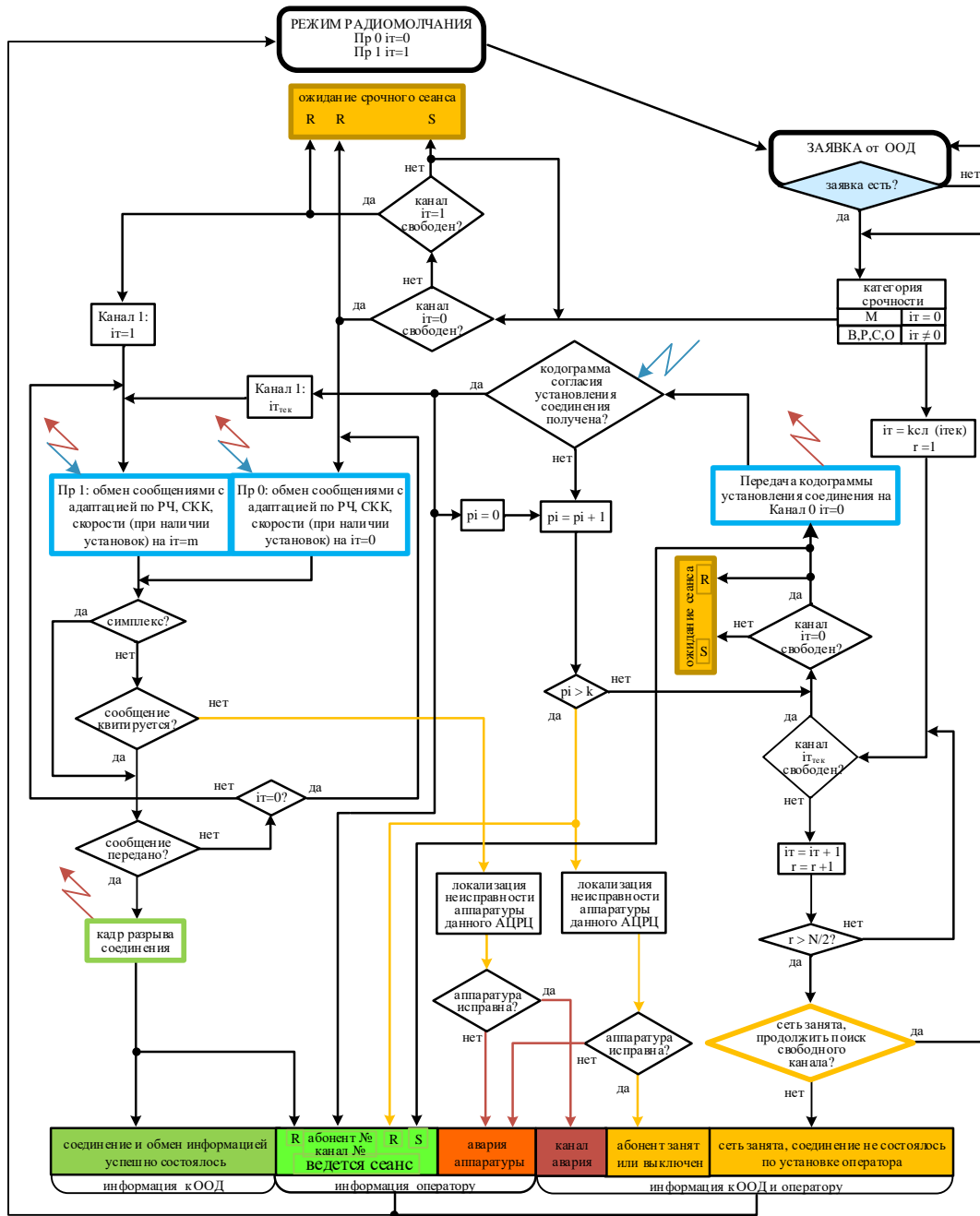


Рис. 3. Алгоритм установления соединения и ведения сеанса связи

При получении ответа от АСРЦ осуществляется обмен сообщениями (оператору выдаётся сигнал «ведется сеанс, абонент №*m*, канал №*xx*»). В режиме симплекс сообщение передается необходимое число раз для обеспечения требуемой надежности. В режиме дуплекс и полудуплекс сообщение передается в адаптивном режиме (РЧ, ССК) до полного квитирования правильно полученного сообщения, после чего формируется кодограмма разрыва соединения и сообщения в ООД об успешном проведении сеанса, а сигнал «ведется сеанс, абонент №*m*, канал №*xx*» снимается. Если в течении установленного времени квитанции за переданное сообщение в нужном объеме не получены, то оператору формируется донесение «канал/авария» и снимается сигнал «ведется сеанс, абонент №*m*, канал №*xx*».

Алгоритм обработки вызова из канала и ведение сеанса связи

При получении на канале управления кодограммы установления соединения с предложением работать на определенном вызывающим абонентом информационном канале, вызываемый абонент переходит на выбранный канал, оператору выдается донесение «ведется сеанс, абонент №m, канал №xx» и осуществляется сеанс связи с использованием приемного канала Пр1 (второй комплект радиоприемников) до получения кодограммы разрыва соединения, о чем сообщается в ООД (рис. 4).

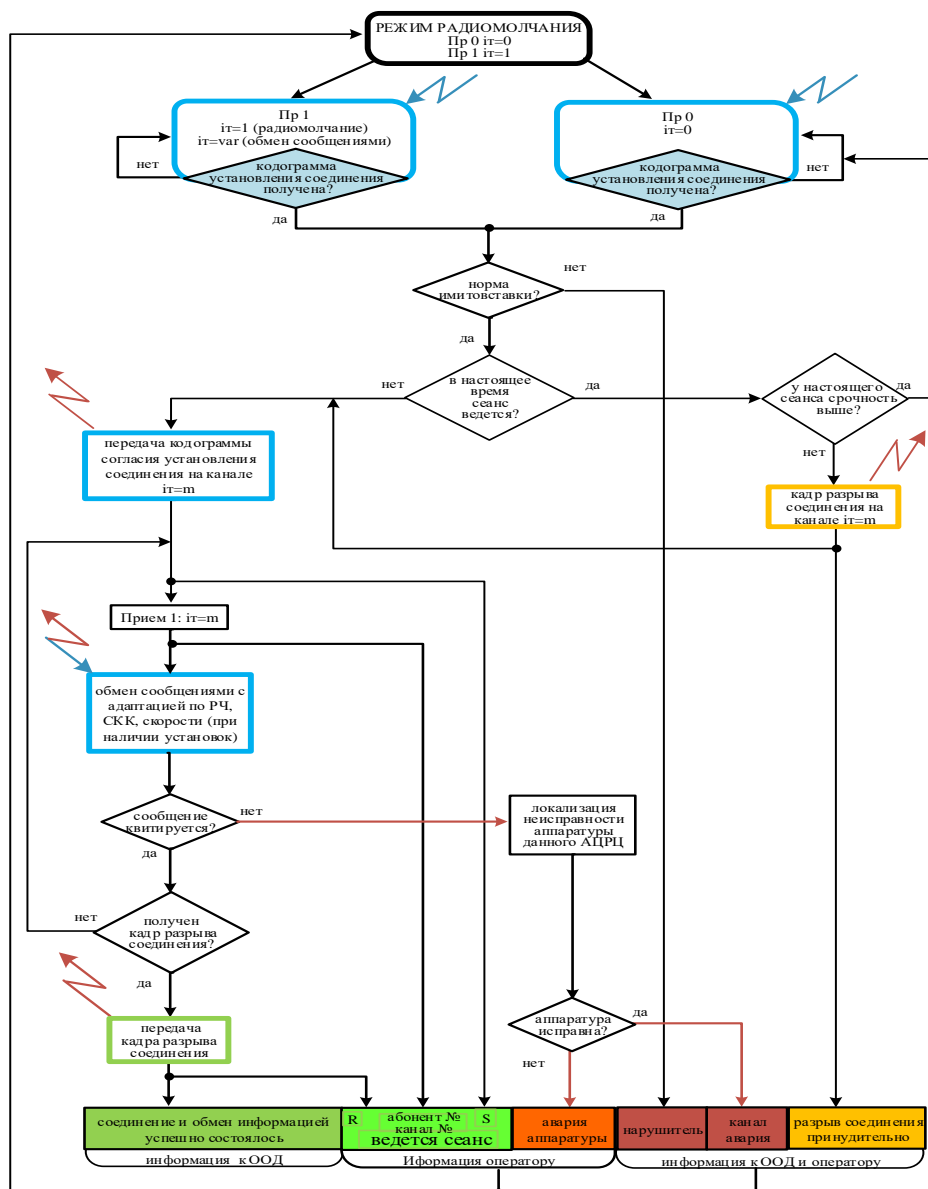


Рис. 4. Алгоритм обработки вызова из канала и ведение сеанса связи

Если во время сеанса связи по каналу управления Пр0 приходит кодограмма установления соединения, то проводится анализ срочности на установления соединения. При этом если:

- признак срочности ведущегося соединения равен или выше признака срочности принимаемой кодограммы, то сообщение игнорируется;

– признак срочности ведущегося соединения меньше признака срочности принимаемой кодограммы, то формируется кадр разрыва соединения текущего сеанса связи, а затем выдается кадр согласия на установление более приоритетного соединения и происходит обмен с другим АСРЦ с более срочным сообщением, оператору выдается донесение «разрыв соединения принудительно» и заменяется номер абонента, с которым ведется сеанс.

Циклограммы установления и поддержания сеанса связи

Отсутствие потерь времени на синхронизацию при приеме модемных посылок (слота) позволяет существенно эффективнее использовать как общий частотный ресурс радиосети, так и позволяет максимально быстро определить качество предоставленных РЧ и организованных каналов в целом.

На рис. 5 показана последовательность действий АСРЦ в полудуплексном режиме **при поступлении вызова из канала связи**. В режиме радиомолчания приемные каналы Пр0 и Пр1 принимают шум или сигналы, которые не соответствуют признакам организованной сети. При приеме каналом Пр0 кадра установления соединения и проверки на имитостойкость передатчик АСРЦ выдает в эфир кадр согласия на установление соединения и ведения сеанса связи на канале №*m*. Длительность передачи на начальном пакете переключения РЧ обеспечивает надежность установления соединения (назовем данное время передачи контрольным временем). Так для варианта количества РЧ $N = 32$ и времени работы на одной РЧ 50 мс (длительность слота) время передачи равно 1,6 с. По окончании передачи кадра согласия на установление соединения (также в течении контрольного времени) взаимодействующие АСРЦ осуществляют обмен сообщениями. Оператору выдается донесение «ведется сеанс, абонент №*m*, канал №*x*». После приема кадра разрыва соединения в течении контрольного времени АСРЦ выдает в эфир аналогичный ответный кадр и оба взаимодействовавших АСРЦ переходят в исходный режим радиомолчания.

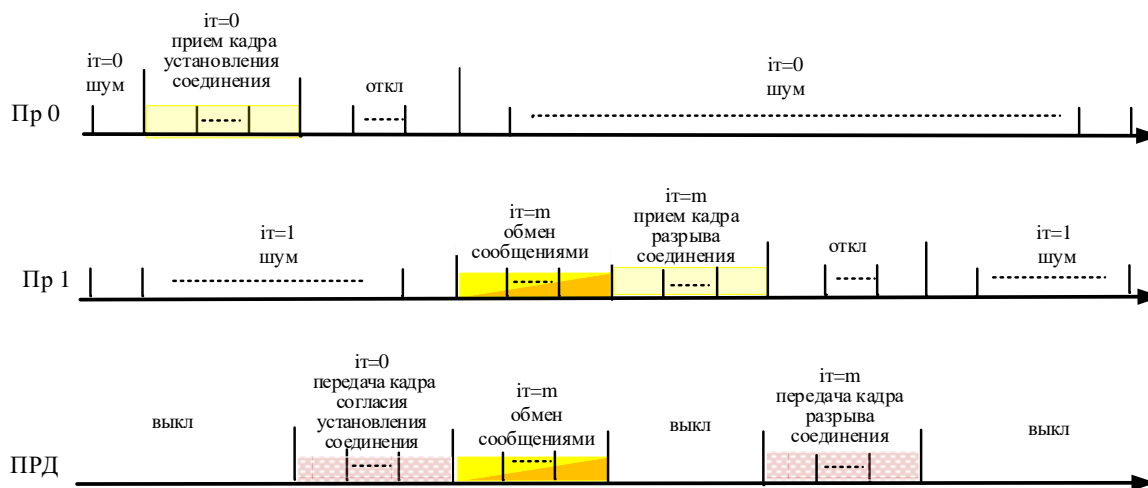


Рис. 5. Циклограмма проведения сеанса связи при приеме кадра установления соединения

На рис. 6 показана циклограмма организации и **проведения сеанса связи с низким приоритетом**. Перед установлением соединения определяется свободный канал. При его наличии на канале управления на пакете РЧ передается адресный кадр установления соединения, в котором указывается номер выбранного (свободного) канала для проведения сеанса связи. По получению данного кадра на РЧ канала управления, адресуемый АСРЦ передает кадр согласия установления соединения, после чего взаимодействующие АСРЦ проводят обмен сообщениями на канале №*m*. По окончании сеанса связи на канале №*m* передаётся кадр разрыва соединения и АСРЦ переходят в исходный режим радиомолчания.

Длительность кадров установления и разрыва соединения также, как и в предыдущем случае выбирается из условий обеспечения надежности доведения кодограмм (контрольное время).

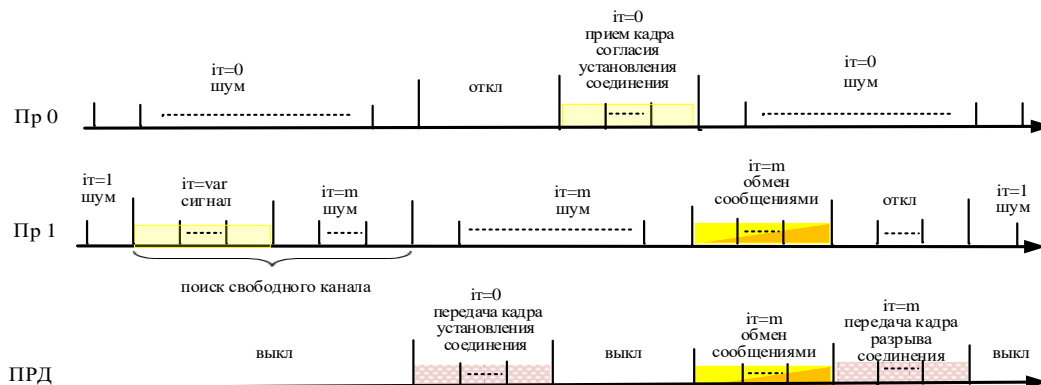


Рис. 6. Циклограмма организации сеанса связи с низким приоритетом

На рис. 7 показана циклограмма организации и проведение сеанса связи **высокого приоритета** с АСРЦ, ведущим сеанс с более низким приоритетом. АСРЦ, имеющий сообщение высокого приоритета определяет свободу канала управления, после чего на этом канале выдает кадр установления соединения с указанием его приоритета. В случае если адресуемый АСРЦ ведет сеанс связи, то принимая данный кадр, прерывает текущий сеанс, передает на используемом канале $N_{от}$ кадр разрыва соединения и на канале управления передает кадр согласия установления соединения с указанием номера $N_{от}$ освобожденного канала. При этом оператору выдается сообщение «разрыв соединения принудительно» и заменяется номер абонента, с которым ведется сеанс. Затем взаимодействующие АСРЦ проводят штатный обмен сообщениями на канале $N_{от}$.

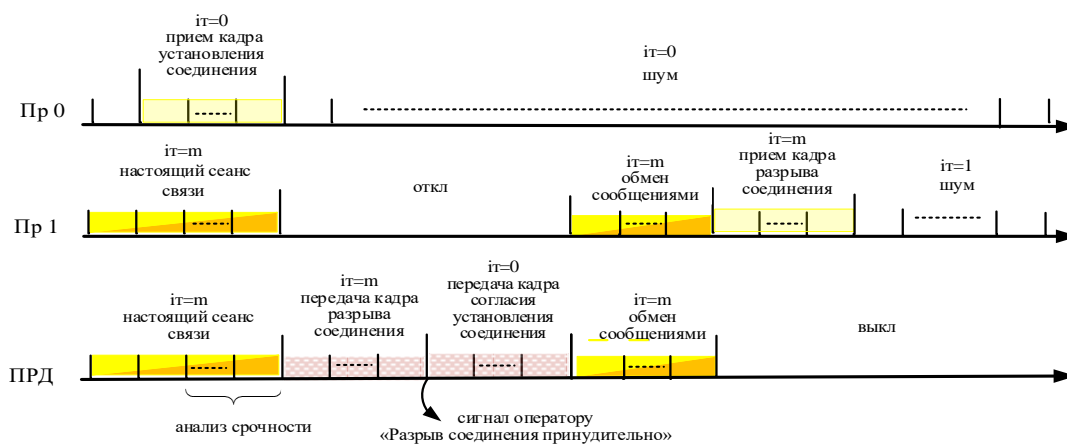


Рис. 7. Циклограмма организации сеанса связи с высоким приоритетом с АСРЦ, ведущим сеанс связи с более низким приоритетом

Для проведения сеанса связи наивысшего приоритета используется канал управления без установления соединения.

На рис. 8 показана циклограмма **процесса организации сеанса связи** с АСРЦ находящимся в выключенном (неисправном) состоянии или обслуживающим срочный вызов. Вызывающий АСРЦ после определения номера свободного канала по каналу управления передает кадры запроса соединения на комплексе РЧ с предложением организации сеанса на выбранном канале связи. Поскольку вызываемый АСРЦ не имеет возможности ответить на запрос соединения, то вызывающий АСРЦ не получая в ответ в течении контрольного времени формирует донесение оператору «абонент занят или выключен»

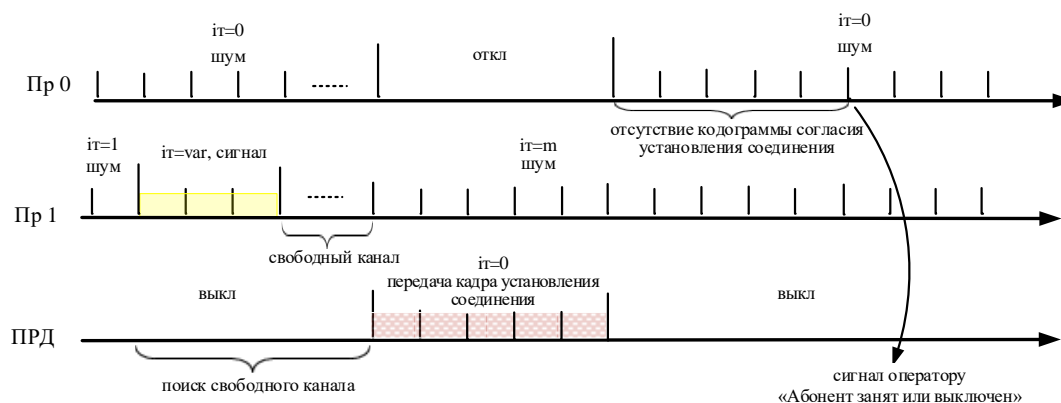


Рис. 8. Циклограмма организации сеанса связи с высоким приоритетом с АСРЦ, ведущим сеанс связи

При дуплексной работе передача кадров установления и разрыва соединения прекращается сразу по получению ответных кадров согласия на установление и разрыва соединения. Приведенные алгоритмы и циклограммы показывают отсутствие необходимости централизованного управления в организации и проведения сеансов связи.

Оценка ВВХ установления соединения

При установлении соединения кодограмма запроса соединения и ответная кодограмма подтверждения соединения передаются на всех выделенных РЧ. Вероятность доведения кодограммы установления соединения зависит от качества используемого канала связи. Рабочие частоты НПП обеспечивают различное качество канала связи. Возьмём ранее рассмотренный вариант, состоящий из $N = 32$ РЧ НПП, из них по 8 дневных, 8 ночных и 16 переходных (утро и вечер). Этот набор устанавливается в соответствии с долгосрочным прогнозом и не требует оперативного участия ИВ ЧДС. Долгосрочный прогноз для каждой из РЧ соответствующего времени суток обеспечивает вероятность превышения требуемого для приема кодограммы отношения сигнал/шум не хуже $P_k \geq 0,5$ [5, 7, 8]. Даже если предположить, что на остальных РЧ $P_k = 0$, то вероятность доведения кодограммы установления соединения равна $P_{yc} = 1 - (1 - P_k)^8$.

Ниже в таблице приведена оценка вероятности доведения кодограмм для каналов разного качества – $P_k \geq 0,6$ (вероятность обеспечивается долговременным прогнозом), $P_k \geq 0,8$ (вероятность обеспечивается месячным прогнозом), $P_k \geq 0,9$ (вероятность обеспечивается полусуточным прогнозом) [5].

Таблица 1 – Вероятность P_k доведения кодограммы установления соединения на одной из выделенных РЧ для каждого времени суток

Параметр	Вероятность P_k доведения кодограммы установления соединения на одной из выделенных РЧ для каждого времени суток		
	0,6	0,8	0,9
Количество слотов передачи кодограммы запроса соединения	32		
Количество слотов передачи кодограммы подтверждения соединения	32		
Время установления соединения в режиме дуплекс, с	0,6 ÷ 4,0		
Время установления соединения в режиме полудуплекс, с	4,0 ÷ 8,0		
Вероятность установления соединения P_{yc}	0,9993	>0,9999	>0,9999

Из таблицы следует, что для обеспечения уверенного установления соединения достаточно долговременного прогноза прохождения радиоволн декаметрового диапазона без регулярной централизованной коррекции набора РЧ для всех абонентов сети (по результатам ИВ ЧДС), включая и суточную коррекцию.

Заключение

Рассмотренная децентрализованная система управления работой декаметровой радиосетью позволяет обеспечить требования, предъявляемые АСУ ВС РФ – необходимую надежность установления и поддержания соединения, значительно сократить время установления соединения, полностью обеспечить рассредоточенное автоматическое управление работой радиосети и исключить влияние человеческого фактора. Рассмотренные решения позволяют существенно упростить регламент назначения и распределения частотного ресурса между радиоцентрами организуемых радиосетей, исключить, процедуру оперативного ионосферного зондирования выделенных рабочих частот, а также делают ненужным использование дополнительных каналов связи для централизованного управления работой радиосети. Предлагаемый в работе режим псевдослучайной перестройки рабочих частот позволяет при его реализации повысить помехоустойчивость и помехозащищенность работы радиосети в условиях РЭП, а также возмущенной ионосферы, диффузной многолучевости, станционных, атмосферных и промышленных радиопомех.

Литература

1. Хвостунов Ю.С., Турилов В.А. Система адаптивной радиосвязи с псевдослучайной перестройкой рабочей частоты совмещенного метрового-декаметрового диапазонов // Труды IX Российской научно-технической конференции. Калуга, 2-3 июня 2010 года. С. 223-229.
2. Хвостунов Ю.С. Реализация сетевой синхронизации в автоматизированной сети радиосвязи декаметрового диапазона // Техника средств связи. 2020. № 2(150). С. 63-70.
3. Хвостунов Ю.С. Использование частотного ресурса при применении адаптивной системы декаметровой связи с полнодиапазонной ППРЧ АПС «Ладога» // Труды XII Российской научно-технической конференции. Калуга, 5 июня 2013 года. С. 348-354.
4. Путилин А.Н., Хвостунов Ю.С. Концепция телекоммуникационной технологии сети дальней радиосвязи // Материалы XI Санкт-Петербургской Международной конференции «Региональная информатика «РИ-2010». Санкт-Петербург. 20-22 октября 2010 года. С. 83.
5. Кизима С.В., Ладанов М.В. Прогнозирование распространения радиоволн декаметрового диапазона в интересах радиочастотной службы Российской Федерации. Москва: НПФ «Радиян-М», <http://www.radian-m.ru>.
6. Панин Р.С., Путилин А.Н., Хвостунов Ю.С. Использование частотного ресурса системой декаметровой связи в режиме псевдослучайной перестройки рабочей частоты // Техника средств связи. 2020. № 3 (151). С. 2-13.
7. Смирнов В.М., Тьянкин С.И., Гузенко О.Б. Ионосферное обеспечение средств коротковолновой связи с использованием спутниковых навигационных систем ГЛОНАСС/GPS // Т-Comm. Телекоммуникации и транспорт. 2014. Т. 4. № 4. С. 28-30.
8. Пашинцев В. П., Скорик А. Д., Коваль С. А., Киселев Д. П., Сенюков М. А. Зависимость надежности связи в декаметровой радиолинии от выбора рабочей частоты учетом сигнально-помеховой обстановки и диффузности ионосферы // Системы управления, связи и безопасности. 2019. № 4. С. 300-322. DOI: 10.24411/2410-9916-2019-10412.

References

1. Khvostunov Yu.S., Turilov V.A. Adaptive radio communication system with pseudo-random adjustment of the working frequency of the combined VHF-HF ranges. Materials of the IX Russian Scientific and Technical Conference. Kaluga. June 2-3. 2010. Pp. 223-229 (in Russian).
2. Khvostunov Yu.S. Implementation of network synchronization in an automated radio network of the HF range. Means of communication equipment. 2020. No 2 (150). Pp. 63-70 (in Russian).
3. Khvostunov Yu.S. The use of the frequency resource in the application of an adaptive HF communication system with a full-range FHSS APS "Ladoga". Materials of the XII Russian Scientific and Technical Conference. Kaluga. June 5. 2013. Pp. 348-354 (in Russian).

4. Putilin A.N., Khvostunov Yu.S. The concept of telecommunications technology of the long-distance communication network. Materials of the XI St. Petersburg International Conference "Regional informatics" RI-2010". St. Petersburg, October 20-22. 2010. P. 83 (in Russian).

5. Kizima S.V., Ladanov M.V. Forecasting the propagation of HF radio waves in the interests of the radio frequency service of the Russian Federation. NPF "Radian-M". Moscow. <http://www.radian-m.ru> (in Russian).

6. Panin R.S., Putilin A.N., Khvostunov Yu.S. Use of the frequency resource by the decimeter communication system in pseudorandom operation frequency tuning mode. Means of communication equipment. 2020. No 3 (151). Pp. 2-13 (in Russian).

7. Smirnov V.M., Tynyankin S.I., Guzenko O.B. Ionospheric support of short-wave communication facilities using GLONASS satellite navigation systems GLONASS/GPS. T-Comm. Telecommunications and transport. Volume 4. No 4-2014. Pp. 28-30 (in Russian).

8. Pashintsev V.P., Skorik A.D., Koval S.A., Kiselev D.P., Senokosov M.A. Dependence of communication reliability in a HF radio line on the choice of the operating frequency taking into account the signal-interference situation and the diffuseness of the ionosphere. 2019. No 4. Pp. 300-322. DOI: 10.24411/2410-9916-2019-10412 (in Russian).

Статья поступила 9 марта 2021 г.

Информация об авторе

Хвостунов Юрий Сергеевич – Кандидат технических наук. Заместитель директора научно-исследовательского центра ПАО «Интелтех». Тел.: +7(812)448-96-30. E-mail: Khvostunov@mail.ru. Адрес: 197342, г. Санкт-Петербург, ул. Кантемировская, д.8.

A decentralized system for managing the operation of the HF radio network

Yu.S. Khvostunov

Annotation. The article deals with **the solution of the problem** of automating the operation of a HF radio network operating in the mode of FHSS. One of the ways to improve the operational characteristics of the radio network is often proposed to use the ionospheric wave and frequency dispatch service (IW FDS), which further complicates the radio communication system, and also requires centralized management of the radio network generally. **The purpose of this work** is to develop algorithms for establishing a connection, processing a call and conducting a communication session that provide the possibility of decentralized control of the operation of a HF radio network without operational operation of the IW FDS, while simultaneously achieving the maximum characteristics by reliability, bandwidth, noise immunity and resistance to radio suppression systems. **Methods used:** theoretical and practical groundwork in the field of digital data transmission over a HF communication channel. **Novelty:** the method of organizing the decentralized management of the decimeter radio network is proposed. **The result:** the algorithms for automatic connection establishment, call processing and communication session management in the decentralized management of the radio network as a whole, which provide the probabilistic and time characteristics necessary for the automated control system of the Armed Forces of the Russian Federation in various operating conditions. **Practical significance:** the proposed algorithms make it possible to maintain a fully automatic mode of conducting a communication session, decentralize the operation of a HF multi-channel radio network, eliminate the influence of the human factor while ensuring high probability-time characteristics

Keywords: HF radio communication, FHSS, signal structure, time-frequency matrix, data transmission equipment, automated stationary radio center, data terminal equipment

Information about the Author

Khvostunov Yuri Sergeevich – Candidate of Technical Sciences. Deputy Director of the Research Center of PJSC "Inteltech". Tel.: +7(812)448-96-30. E-mail: Khvostunov@mail.ru. Address: 197342, St. Petersburg, Kantemirovskaya str., 8.

Для цитирования: Хвостунов Ю.С. Децентрализованная система управления работой декаметрового радиосетью // Техника средств связи. 2021. № 1 (153). С. 35-48.

For citation: Khvostunov Yu.S. A decentralized system for managing the operation of the HF radio network. Means of communication equipment. 2021. No 1 (153). Pp. 35-48 (in Russian).

УДК 621.396.93

Квадратурный модулятор с модулем выделения фазы

Щукин А.Н., Солозобов С.А.

***Аннотация. Цель статьи:** показать, как с использованием метода непрерывного вейвлет-преобразования, реализуемого в квадратурном модуляторе с модулем сглаживания фазы, можно улучшить спектральную эффективность сигнала. Приведена структурная схема квадратурного модулятора с относительно-фазовой манипуляцией в синфазном и квадратурном каналах и модулем, реализующим непрерывное вейвлет-преобразование. **Представлены результаты** имитационного моделирования процесса формирования сигнала в квадратурном модуляторе. Выполнен анализ сигнала на входе и выходе квадратурного модулятора во временной и спектральной области. В качестве критерия эффективности выбран критерий спектральной эффективности моделируемых сигналов. Представлены результаты имитационного моделирования процесса формирования и анализа формируемых сигналов. Результаты работы могут быть реализованы при создании перспективных радиопередающих устройств декаметрового диапазона волн.*

***Ключевые слова:** декаметровый диапазон, условия распространения радиоволн, помеховая обстановка, квадратурный модулятор, вейвлет-преобразование.*

Введение

Декаметровый диапазон волн, используемый для радиосвязи на большие расстояния, является сложным, с точки зрения обеспечения качества связи, как по условиям распространения волн, так и по помеховой обстановке, в пригодном для связи рабочем диапазоне частот.

Текущая неравномерность загрузки декаметрового диапазона волн [1] позволяет с большой вероятностью выбрать полосу частот, соизмеримую с шириной спектра сигнала, в пределах которой имеется низкий уровень помех и приемлемый для качественного приема уровень сигнала.

Узкая полоса частот, пригодных для связи в декаметровом диапазоне волн в ночное и дневное время, приводит к её высокой загруженности в следствии чего создаётся сложная помеховая обстановка для радиолиний, работающих в ней. Следовательно, необходимо увеличивать эффективность использования частотного спектра, выделенного для системы радиосвязи [2].

В этих условиях возрастают требования к цифровым системам связи. Возникает необходимость в максимально возможном ограничении спектра частот сигнала передатчика и повышению его спектральной эффективности.

Формирующий фильтр, используемый на выходе модулятора, ограничивает спектр сформированного в нем сигнала. Однако ограничение спектра сигнала влияет на точность восстановления его формы в точке приема, так как при уменьшении полосы пропускания фильтра длительность сигнала увеличивается и происходит наложение элементов, передаваемых в канале связи, друг на друга. Это ведет к увеличению вероятности ошибки при приеме сигнала.

Дальнейшее развитие систем радиосвязи невозможно без использования в средствах радиосвязи спектрально-эффективных сигналов. Особенно остро эта проблема стоит перед разработчиками систем и средств радиосвязи, функционирующих в условиях ограниченного частотный ресурс. К таким системам относятся системы декаметровой радиосвязи.

1. Структурная схема квадратурного модулятора с модулем сглаживания скачка фазы

Рассмотрим, приведенный в работе [3] сигнал, формируемый в квадратурном модуляторе, с поворотом созвездия квадратурного сигнала на угол $\pi/4$ и исследуем его временные и спектральные характеристики.

Квадратурный сигнал с относительно-фазовой манипуляцией (ОФМ) в синфазном и квадратурном каналах со сдвигом созвездия на угол $\pi/4$ имеет следующее аналитическое выражение

$$S(t) = \cos(\Theta) \cdot \cos(\omega t + \varphi_0) - \sin(\Theta) \cdot \sin(\omega t + \varphi_0), \tag{1}$$

где Θ – фаза между парами бит в синфазном и квадратурном каналах, значение которой определяется данными, приведенными в табл. 1; $\omega = 2\pi f$ – частота на которой формируется сигнал; φ_0 – начальная фаза гармонического колебания равная $\pi/4$.

Таблица 1 – Закон изменения фазы в квадратурном модуляторе

Перекодированные биты информации в синфазном и квадратурном каналах		Изменение фазы $\Theta = f(d_{отн\ 1n}, d_{отн\ 2n})$
$d_{отн\ 1n}$	$d_{отн\ 2n}$	
1	1	$-3\pi/4$
-1	1	$3\pi/4$
-1	-1	$\pi/4$
1	-1	$-\pi/4$

$S(t)$ является случайным сигналом, так как символы сообщения, поступающие на вход квадратурного модулятора, изменяются по случайному закону.

Спектр реализации случайного процесса (1) определяется выражением [4]

$$F_s(\omega) = \int_{-T}^T S(t) * \exp(-j\omega t) dt, \tag{2}$$

где T – длительность сигнала $S(t)$.

Непрерывное вейвлет-преобразование (НВП) $S(t)$ определяется выражением [5]

$$C(\tau, sd) = \frac{1}{\sqrt{sd}} \int_{-\infty}^{\infty} S(t) \Psi\left(\frac{t-\tau}{sd}\right) dt = \frac{1}{\sqrt{sd}} \int_{n\Delta t}^{n\Delta t + sdN\Delta t} S(t) \Psi\left(\frac{t-\tau}{sd}\right) dt, \tag{3}$$

где: $\Psi\left(\frac{t-\tau}{sd}\right)$ – вейвлет функция, сконструированная из материнского вейвлета; τ – параметр сдвига вейвлет функции по оси времени; sd – масштаб вейвлет функции, то есть ее ширина по оси времени; Δt – интервал дискретизации сигнала; n – номера отсчетов входного сигнала; N – уровень разложения по масштабу.

При фиксированном масштабе т. е. когда $sd = sd_0$, $C(\tau, sd_0)$ будет характеризовать временную зависимость преобразованного сигнала с коэффициентами, определяемыми выражением

$$C(\tau, sd_0) = \frac{1}{\sqrt{sd_0}} \int_{n\Delta t}^{n\Delta t + sd_0N\Delta t} S(t) \Psi\left(\frac{t-\tau}{sd_0}\right) dt, \tag{4}$$

Таким образом, зафиксировав масштаб базисной функции получим исходный сигнал во временной области со сглаженными скачками фазы сформированного сигнала квадратурного модулятора.

Процесс формирования квадратурного сигнала с ОФМ в синфазном и квадратурном каналах [6] сводится к перекодированию передаваемой двоичной последовательности, присвоению паре бит значения фазы, умножению $\cos(\Theta) \cdot \cos(\omega t + \varphi_0)$, $\sin(\Theta) \cdot \sin(\omega t + \varphi_0)$ и сложению результатов перемножения в сумматоре.

Алгоритм перекодировки заключается в следующем. Если обозначить входной поток как значения бит сообщения $d_{in} = \pm 1$, подлежащие передаче на n -м временном интервале, то

перекодированный, в соответствии с правилами ОФМ, $d_{отн in}$ в синфазном и квадратурном каналах определяется следующим рекуррентным соотношением:

$$d_{отн in} = d_{in} * d_{отн in-1}, \tag{5}$$

Для получения квадратурного сигнала с ОФМ в синфазном и квадратурном каналах необходимо сложить выражения $\cos(\Theta) * \cos(\omega t + \varphi_0)$ и $\sin(\Theta) * \sin(\omega t + \varphi_0)$.

Структурная схема квадратурного модулятора с ОФМ в синфазном и квадратурном каналах, и модулем сглаживания фазы сформированного квадратурного сигнала, реализованного в блоке НВП, приведена на рис. 1.

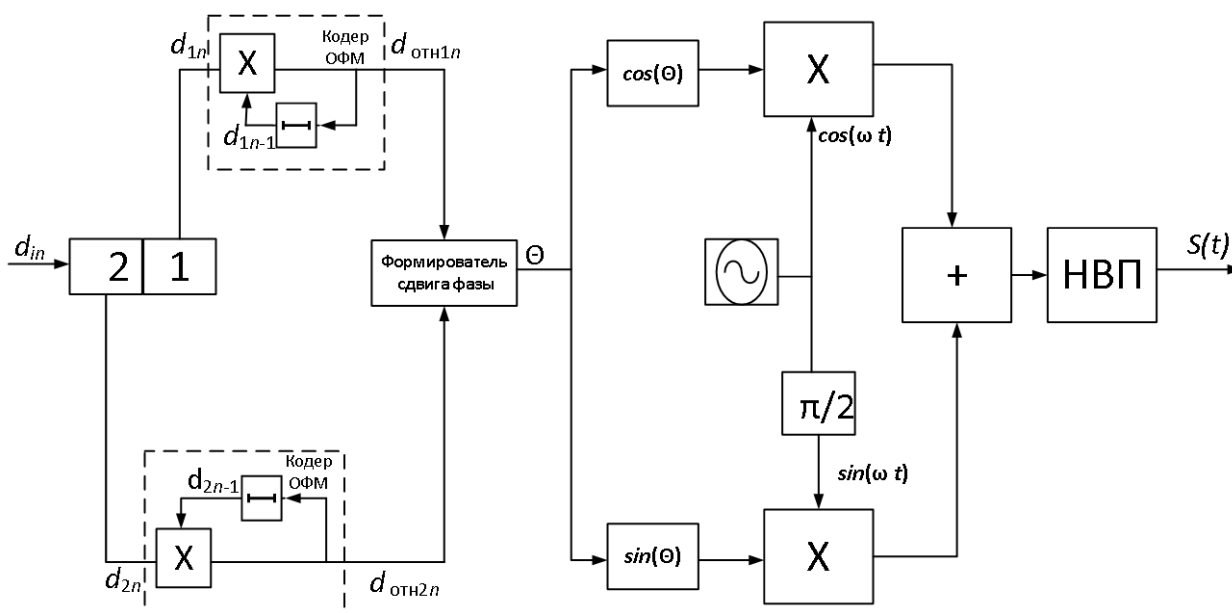


Рис. 1. Квадратурный модулятор с модулем непрерывного вейвлет-преобразования

Входной информационный поток поступает на регистр сдвига, с которого нечетные биты поступают на кодер ОФМ синфазного канала, четные биты – квадратурного канала. Перекодированные сигналы поступают на входы формирователя сдвига фазы. На выходе формирователя сдвига фазы, в соответствии с табл. 1, формируются значения фазы символа. В функциональных преобразователях вычисляются квадратурные компоненты комплексной огибающей сигнала $\cos(\Theta)$ – синфазная компонента и $\sin(\Theta)$ – квадратурная компонента.

Сигналы с выходов перемножителей поступают на вход сумматора, который формирует колебание, несущее информацию о передаваемых битах (символах).

Модуль непрерывного вейвлет-преобразования обрабатывает суммарный фазомодулированный сигнал в соответствии с выражением (4).

Таким образом, в квадратурном модуляторе формируются символы сдвинутые по фазе относительно друг друга на угол равный $\pi/2$ с поворотом созвездия квадратурного сигнала на угол $\pi/4$.

2. Исследование процессов в квадратурном модуляторе

Исследования процессов в квадратурном модуляторе проводились в среде *MatLab*.

В имитационной модели модулятора формировался квадратурный сигнал с ОФМ в синфазном и квадратурном каналах и в соответствии с табл. 1 формировалась фаза символа при:

- отсутствии сглаживания фронтов бит передаваемой информации;
- отсутствии сглаживания фронтов бит передаваемой информации и обработки квадратурного сигнала в блоке нелинейного вейвлет-преобразования (НВП).

Временные диаграммы сигналов на входе и выходе каналов квадратурного модулятора представлены на рис. 2.

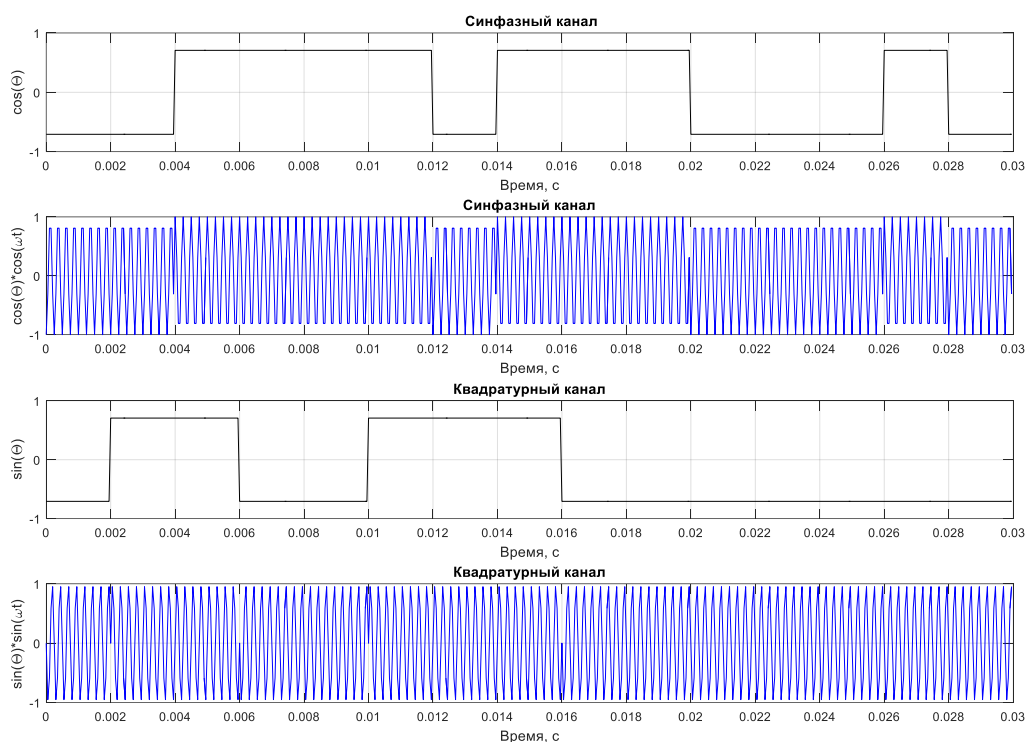


Рис. 2. Сигналы на входе и выходе каналов квадратурного модулятора

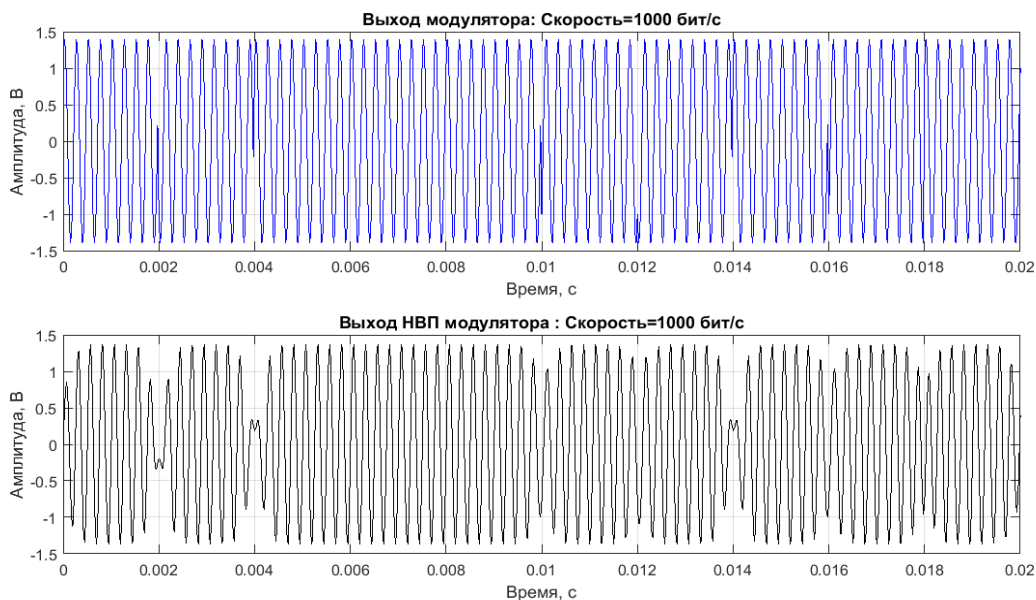


Рис. 3. Временные диаграммы сигнала на выходе квадратурного модулятора

Из графиков видно, что при каждом изменении фазы перекодированного входного информационного сигнала изменяется фаза колебания в синфазном и квадратурном каналах. Сигналы на выходах синфазного и квадратурного каналов квадратурного модулятора

представляют собой фазоманипулированные колебания на частоте ω с изменением фазы на угол равный $\pi/2$. На выходе сумматора, в результате сложения фазомодулированных колебаний, формируются символы, сдвиг по фазе между которыми определяется парами передаваемых бит информации, в соответствии с табл. 1.

Обработка квадратурного сигнала в модуле НВП осуществлялась на частоте 4000 Гц, в полосе частот 800 Гц при символьной скорости передачи равной 500 символов/с.

На рис. 3 представлены временные диаграммы сигнала на выходе квадратурного модулятора.

Видно, что при отсутствии НВП выходного сигнала (верхний график), при смене фазы пары бит информации происходит скачкообразное изменение фазы сформированного сигнала на выходе квадратурного модулятора.

При использовании модуля НВП изменение фазы квадратурного сигнала (нижний график), смена пары бит информации на его входе, происходит плавно. Причем длительность символа, преобразованного в модуле НВП сигнала, остается неизменной, т. е. не приводит к межсимвольной интерференции сигнала.

На рис. 4 представлены спектральные диаграммы сигнала на выходе квадратурного модулятора при отсутствии модуля НВП и его наличия в нем.

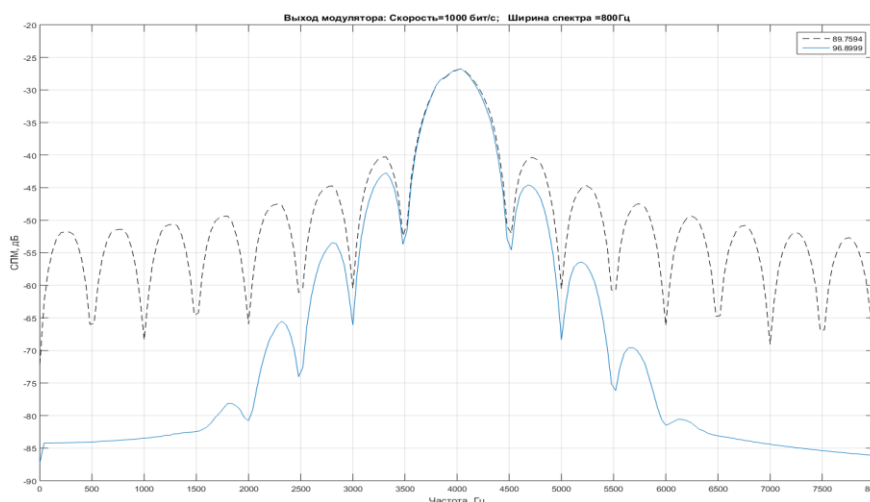


Рис. 4. Спектральные диаграммы сигнала на выходе квадратурного модулятора

Из рис. 4 видно, что при обработке квадратурного сигнала в модуле НВП происходит уменьшение уровня боковых лепестков на выходе квадратурного модулятора. При этом 96,9 % мощности сигнала сосредоточены в полосе частот 800 Гц, а скорость передачи информации на выходе квадратурного модулятора составляет 1000 бит/с. При формировании квадратурного сигнала без сглаживания фазы в полосе частот 800 Гц сосредоточено 89,7 %.

Таким образом, спектральная эффективность квадратурного сигнала с модулем НВП, полученная в результате моделирования, составляет 1,25 бит/с на Герц.

Выводы

1. По своему физическому действию модуль НВП представляет собой полосовой фильтр, осуществляющий обработку квадратурного сигнала, подавляя при это боковые лепестки его спектра за счет сглаживания скачков фазы, появляющихся при модуляции.

2. Функционирование модуля НВП не приводит к увеличению длительности символа, которое имеет место при прохождении сигнала через полосовой фильтр, реализованный на RLC элементах, из-за переходных процессов в его элементах.

3. Использование модуля НВП в квадратурном модуляторе приводит к спектральной эффективности квадратурного сигнала равной 1,25 бит/с на Герц.

Литература

1. Солозобов С.А., Шевченко В.В., Щукин А.Н. Децентрализованное использование частотного ресурса декаметрового диапазона волн в сложной помеховой обстановке // Техника средств связи. 2020. № 1 (149). С. 28-36.
2. Солозобов С.А., Шевченко В.В., Щукин А.Н. Статистический выбор рабочих частот в декаметровом диапазоне волн для различных видов радиосигналов // Техника средств связи. 2020. № 2 (150). С. 55-62.
3. Солозобов С.А., Шевченко В.В., Щукин А.Н. Формирование спектрально-эффективного сигнала // Техника средств связи. 2020. № 3 (151). С. 43-49.
4. Купер Дж., Макгиллем К., Вероятностные методы анализа сигналов и систем: Пер. с англ. М.: Мир, 1989. 376 с.
5. Смоленцев Н. К. Основы теории вейвлетов. Вейвлеты в MATLAB. М.: ДМК Пресс. 2009. 448 с.
6. Скляр Бернард. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. Изд. 2-е. Пер. с англ. М.: Издательский дом «Вильямс». 2003. 1104 с.

References

1. Solozobov S.A., Shevchenko V.V., Shchukin A.N. Decentralized use of the frequency resource decimeter wave range in complex interference environment. Means of communication equipment. 2020. No 1 (149). Pp. 28-36 (in Russian).
2. Solozobov S.A., Shevchenko V.V., Shchukin A.N. Statistical selection of operating frequencies in decimeter mode wave range for various types of radio signals. Means of communication equipment. 2020. No 2 (150). Pp. 55-62 (in Russian).
3. Solozobov S.A., Shevchenko V.V., Shchukin A.N. Generation of spectral-efficient signa. Means of communication equipment. 2020. No 3 (151). Pp. 43-49 (in Russian).
4. Cooper J., Mcgillum K., Probabilistic methods for analyzing signals and systems. Moscow: Mir, 1989. 376 p. (in Russian).
5. Smolentsev N. K., Fundamentals of the theory of wavelets. Wavelets in MATLAB. Moscow: DMK Press. 2009. 448 p. (in Russian).
6. Sklar Bernard. Digital communication. Theoretical foundations and practical application. Moscow. Publishing house "Williams". 2003. 1104 p. (in Russian).

Статья поступила 19 марта 2021 г.

Информация об авторах

Щукин Анатолий Николаевич – Кандидат технических наук. Главный специалист ПАО «Интелтех». E-mail: ShchukinAN@inteltech.ru. Тел.: (812)448-95-94.
 Солозобов Сергей Анатольевич – Кандидат технических наук, доцент. Начальник научно-исследовательского отделения ПАО «Интелтех». E-mail: solozobob@inteltech.ru. Тел.: (812)295-40-54.
 Адрес: 197342, Санкт Петербург, ул. Кантемировская, д.8.

Quadrature modulator with phase allotment module

A.N. Shchukin, S.A. Solozobov

Annotation. The aim of this paper is to show how the spectral efficiency of a signal can be improved using the continuous wavelet transform method implemented in a quadrature modulator with a phase smoothing module. A block diagram of a quadrature modulator with relative - phase modulation in inphase and quadrature channels and a module implementing a continuous wavelet transform is presented. The simulation of the signal formation process in a quadrature modulator is carried out. The signal at the input and output of the quadrature modulator in the time and spectral domain is analyzed. The criterion of spectral efficiency of the simulated signals is chosen as the efficiency criterion. The results of simulation modeling of the process of forming and analyzing the generated signals are presented. The results of the work can be implemented when creating promising radio transmitting devices of the decimeter wave range.

Keywords: decimeter range, radio wave propagation conditions, interference environment, quadrature modulator, wavelet transform.

Information about Authors

Anatoly Nikolaevich Shchukin – Doctoral. The postgraduate engienier of the Department PJSC «Inteltech». Tel.: +7 812-295-95-94. E-mail: ShchukinAN@inteltech.ru.
 Sergey Anatolyevich Solozobov – Doctoral. The postgraduate shef of the Department PJSC «Inteltech». Tel.: +7 812-295-40-54. E-mail: solozobob@inteltech.ru.
 Address: Russia, 197342, Saint-Petersburg, Kantemirovskaya street, 8.

Для цитирования: Щукин А.Н., Солозобов С.А. Квадратурный модулятор с модулем выделения фазы // Техника средств связи. 2021. № 1 (153). С. 49-54.

For citation: Shchukin A.N., Solozobov S.A. Quadrature modulator with phase allotment module. Means of communication equipment. 2021. No 1 (153). Pp. 49-54 (in Russian).

СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

УДК 621.391

Оценка основных свойств применения мобильных аппаратных связи

Моисеев А.А., Киселев А.А.

***Аннотация:** Статья является логическим продолжением ранее опубликованной по применению мобильных аппаратных связи для обмена данными с морскими объектами, и обосновывает оценку основных свойств системы (сети) специальной связи в различных условиях. Оценка готовности мобильных аппаратных связи к выполнению задач по предназначению в мирное время и при переводе на военное время осуществляется с помощью коэффициента готовности системы или по вероятности выполнения требуемого комплекса мероприятий за планируемое время перевода. Для оценки устойчивости функционирования мобильных аппаратных связи предлагается два подхода. Первый – по коэффициенту исправного действия, который является интегральным показателем живучести, помехоустойчивости и надежности, второй – трехуровневый, который позволяет рассматривать устойчивость на объектовом, структурном и функциональном уровнях. Мобильность предлагается оценивать по вероятностному критерию или по интервалу времени, необходимому на предоставление потребителю услуг мобильных аппаратных связи требуемого ресурса пропускной способности. Оценка пропускной способности системы (сети) специальной связи ведется на техническом, реальном и потенциальном уровнях. Разведзащищенность системы специальной связи оценивается с помощью временных и вероятностных показателей на объектовом и сетевом уровнях: среднее время скрытой от разведки противника работы системы (сети, элемента, объекта) специальной связи и вероятность такой работы, которые определяются на основе оценки частных показателей, характеризующих степень подверженности системы (сети, элемента) специальной связи разведке противника. Оценку управляемости системы специальной связи предлагается проводить по времени реакции системы управления на изменение состояния (необходимость такого изменения) и коэффициенту устойчивости управления, в заданных пределах изменения.*

***Ключевые слова:** мобильные аппаратные связи и управления, готовность к применению, устойчивость функционирования, мобильность, пропускная способность, разведзащищенность, управляемость.*

Введение

Мобильные аппаратные связи (МАСУ), как и любая сложная организационно-техническая структура (система), должны обладать некоторым множеством свойств, характеризующих их с точки зрения соответствия основному целевому предназначению.

МАСУ, как и линии связи, являются составными частями сети (системы) специальной связи. Следовательно, и перечни требований, предъявляемых к ним, идентичны требованиям к системе специальной связи [1, 2].

На этом основании можно констатировать, что МАСУ должны находиться в состоянии постоянной готовности к предоставлению необходимых телекоммуникационных услуг, устойчиво функционировать, быть мобильными, обладать необходимой пропускной способностью, быть достаточно разведзащищенными и управляемыми.

Статья является логическим продолжением [3] и обосновывает применение МАСУ для обмена данными с морскими объектами, с целью оценки основных свойств системы (сети) специальной связи в различных условиях.

Готовность МАСУ к применению

Под готовностью МАСУ понимается их состояние, позволяющее выполнить задачи по предназначению в установленные сроки и в любых условиях обстановки.

Оценить готовность МАСУ к выполнению задач по предназначению в мирное время и при переводе на военное время можно с помощью коэффициента готовности системы (K_{ri}). Он определяется отношением количества выполненных мероприятий по переводу системы (ее элементов) в высшую степень готовности ($N_{\text{вып}}$) к общему количеству требуемых основных мероприятий (N^*) за установленное время перевода:

$$K_{ri} = \frac{N_{\text{вып } i}}{N_i^*}, \text{ при } t_{\text{пер } i} \leq T_{\text{пер } i}^*, \quad (1)$$

где i – требуемая степень готовности; $t_{\text{пер } i}$ – время перевода системы (ее элементов) в степень готовности; $T_{\text{пер } i}^*$ – нормированное время перевода системы (ее элементов) в степень готовности.

Если условие $t_{\text{пер } i} \leq T_{\text{пер } i}^*$ выполнено и $K_{ri} = 1$, считается, что система специальной связи (МАСУ, как ее элемент) переведена в i -е состояние готовности.

Если $K_{ri} < 1$, то система специальной связи находится в состоянии, не позволяющем ей в полном объеме выполнить задачи, определяемые i -й степенью готовности.

Оценить готовность разрабатываемой (проектируемой) системы специальной связи, в том числе и МАСУ, можно по вероятности выполнения требуемого комплекса мероприятий за планируемое (допустимое, нормативное, требуемое) время перевода:

$$P_{\text{вып}} [N_{\text{вып } i} / (t_{\text{пер } i} \leq T_{\text{пер } i}^*)]. \quad (2)$$

Для объективного оценивания свойств системы специальной связи необходимо знание ее состояния, в соответствии с установленной (введенной) степенью готовности в данный момент времени. При этом, значимость других свойств системы специальной связи и требования к их показателям могут измениться.

Устойчивость функционирования

Под устойчивостью понимают способность системы специальной связи, ее элементов, выполнять заданные функции в установленном объеме с требуемым уровнем качества, в течение определенного периода или в произвольный момент времени, т.е. сохранять свою работоспособность при воздействии различных дестабилизирующих факторов.

Устойчивость системы специальной связи в условиях внешних дестабилизирующих воздействий характеризуется живучестью, внутренних – надежностью, а внешних и внутренних воздействий электромагнитных помех – помехоустойчивостью.

Под живучестью понимают способность системы специальной связи, ее элементов устойчиво функционировать при воздействии на нее дестабилизирующих факторов, существующих вне системы и приводящих к разрушению или значительным повреждениям ее элементов (линий, станций и узлов связи).

Помехоустойчивость характеризует способность системы специальной связи противостоять воздействию внутренних и внешних электромагнитных помех, дестабилизирующих работу ее элементов.

Под помехозащищенностью понимается способность системы специальной связи обеспечивать функционирование ее элементов в условиях воздействия внешних преднамеренных и непреднамеренных помех.

Под электромагнитной совместимостью понимается способность системы специальной связи обеспечить одновременное функционирование различных близко расположенных радиоэлектронных средств, с требуемым качеством в условиях воздействия внешних и внутренних непреднамеренных радиопомех искусственного происхождения.

Надежность характеризует способность элементов системы связи устойчиво функционировать во времени, с сохранением в установленных пределах значений всех своих эксплуатационных показателей.

Устойчивость функционирования системы специальной связи, в общем случае, является интегральным свойством, которое определяется в виде функции от его частных свойств – живучести, помехоустойчивости и надежности:

$$V = f(J, ПУ, Н). \quad (3)$$

Показателем (количественной мерой оценки) устойчивости i -го элемента системы связи, планируемой к развертыванию, является вероятность $(P_{y, \phi i})$ устойчивого функционирования (выполнения им задач по предназначению), в течение промежутка времени (Δt) .

При условии, что различные воздействия на систему специальной связи независимы друг от друга, вероятность устойчивого функционирования элемента системы (сети, направления) связи определяется как произведение вероятностей выживания $(P_{\text{выж } i})$ данного элемента по живучести, помехоустойчивости и надежности:

$$P_{y, \phi i}(\Delta t) = P_{\text{выж}}^{\text{ж}}(\Delta t) \cdot P_{\text{выж}}^{\text{пу}}(\Delta t) \cdot P_{\text{выж}}^{\text{н}}(\Delta t). \quad (4)$$

Вероятность выживания i -го элемента системы связи $(P_{\text{выж } i}(\Delta t))$, при воздействии на него различных дестабилизирующих факторов за промежуток времени Δt , определяется как:

$$P_{\text{выж } i}(\Delta t) = P(J_{pi} \geq J_{\text{мин } i}, \Delta t), \quad (5)$$

где J_{pi} – сохранившийся уровень работоспособности, а $J_{\text{мин } i}$ – минимальный заданный уровень работоспособности элемента системы связи.

Критерием оценки живучести (помехоустойчивости, надежности), планируемой к развертыванию элемента системы (сети) специальной связи, является выполнение условия:

$$P_{\text{выж } i}^{\text{ж, пу, н}}(\Delta t) \geq (P_{\text{выж } i}^{\text{ж, пу, н}}(\Delta t))^{\text{н}}, \quad (6)$$

где $(P_{\text{выж } i}^{\text{ж, пу, н}}(\Delta t))^{\text{н}}$ – требуемая для нормального функционирования элемента системы (сети) специальной связи вероятность выживания.

В процессе функционирования системы специальной связи оценивание устойчивости того или иного направления, линии связи, канала производят на основе анализа среднего времени исправной его работы и определения коэффициента исправного действия направления (линии, канала) связи.

Коэффициент исправного действия характеризует устойчивость любого элемента системы связи, в целом, то есть является обобщенным показателем его живучести, помехоустойчивости и надежности.

Коэффициент исправного действия $(K_{\text{и.д. } i})$ элемента системы связи определяется выражением:

$$K_{\text{и.д. } i} = \frac{\sum_{j=1}^n t_{\text{и.д. } ij}}{t_{\phi}}, \quad (7)$$

где $t_{\text{и.д. } ij}$ – продолжительность исправной работы i -го элемента, $j = [1, n]$, n – количество интервалов его исправной работы за общее время функционирования (наблюдения) – t_{ϕ} .

Определив коэффициент исправного действия (простая) элемента системы специальной связи, и сравнив его с заданным (нормированным) значением, можно сделать вывод об исправности оцениваемого элемента системы:

$$K_{\text{и.д.}} \geq K_{\text{и.д.}}^{\text{н}}. \quad (8)$$

Такая оценка позволяет сделать вывод о количестве работоспособных (исправных) направлений, линий или каналов связи функционирующей системы специальной связи.

Другим подходом к оценке устойчивости сети специальной связи может быть трехуровневый, который позволяет рассматривать устойчивость на объектовом, структурном и функциональном уровнях [2].

Детерминированным показателем структурной устойчивости, в этом случае, является коэффициент разветвленности структуры:

$$R = f(G), \quad (9)$$

численное значение которого показывает насколько структура сети специальной (G) по количеству ребер графа сети превосходит наипростейшую сеть (G_0), способную выполнить поставленные задачи по предоставлению ресурса пропускной способности.

В качестве стохастического показателя структурной и функциональной устойчивости используется реально создаваемая сетью специальной связи пропускная способность Y^P , с учетом устойчивости функционирования ее элементов:

$$Y^P = f(Y^T, k_y^\Phi, k_y^G, \{P_{y_i}\}). \quad (10)$$

В выражении (10) приведены показатели, характеризующие устойчивость функционирования сети специальной связи на функциональном k_y^Φ , структурном k_y^G и объектовом P_{y_i} (i – объекты сети специальной связи) уровнях.

Третьим уровнем является объектовая устойчивость, характеризующая способность отдельных элементов сети специальной связи выполнять свое предназначение в условиях различного рода воздействий. Частными показателями объектовой устойчивости выступают показатели объектовой живучести и помехоустойчивости:

$$P_{y_i} = f(P_{вск_i}, P_{выж_i}^к, P_{выж_i}^{оп}, P_{рэл_i}), \quad (11)$$

где $P_{вск_i}$ – вероятность вскрытия i -го элемента сети специальной связи; $P_{выж_i}^к$ – вероятность выживания i -того элемента сети при косвенном поражении; $P_{выж_i}^{оп}$ – вероятность выживания i -го элемента сети специальной связи при целенаправленном огневом поражении; $P_{рэл_i}$ – вероятность радиоэлектронного подавления i -той линии передачи, сопряженной с элементом сети.

Мобильность

Под мобильностью системы специальной связи понимается ее способность своевременно изменять свою структуру и состояние, в соответствии с поставленными задачами и условиями их выполнения.

Показателем мобильности системы специальной связи является время изменения ее структуры или состояния ($t_{изм}$), которое требуется для выполнения необходимого комплекса мероприятий (N^*). Критерием оценки мобильности системы связи является выражение, показывающее степень соответствия времени изменения ее структуры (состояния) установленному (допустимому) времени:

$$t_{изм} \leq t^*, \text{ при } N \leq N^*. \quad (12)$$

Время изменения структуры или состояния системы зависит от поставленных задач и условий их выполнения. Оно рассчитывается как сумма времени на подготовку системы к перестроению ($t_{подг.пер}$) и времени непосредственного перестроения ($t_{пер}$):

$$t_{изм} = t_{подг.пер} + t_{пер}. \quad (13)$$

Значение устанавливаемого (требуемого или нормативного) времени изменения структуры или состояния (t^*) не должно стремиться к минимуму, т.к. неоправданное его уменьшение может привести к невыполнению поставленных задач по связи. Оно

обусловливается оперативной обстановкой, условиями организации связи и существующими нормативными документами.

Показатель мобильности системы связи ($t_{\text{изм}}$) является случайной величиной. Поэтому, существует вероятность такого события, когда система изменит свою структуру или перейдет из текущего состояния в заданное за время, не превышающее установленное.

Вероятностным критерием оценки мобильности служит выражение:

$$P_M(t_{\text{изм}} \leq t^*, N^*) \geq P_M^*, \quad (14)$$

где P_M – вероятность для оценки мобильности; P_M^* – допустимая вероятность для оценки мобильности.

В качестве альтернативного подхода используют показатель мобильности сети определенного интервала времени, который необходим для предоставления потребителю услуг МАСУ требуемого ресурса пропускной способности, который, по сути, является временем реконфигурации сети – Δt_p .

Анализ зависимости Δt_p в ситуациях, требующих изменения структурно-топологических характеристик сети специальной связи, показал, что в общем случае существуют две базовые ситуации в поведении сети [4]:

1. Предоставление ресурса пропускной способности потребителям сети специальной связи путем развертывания дополнительных элементов, который требует привлечения резервных сил и средств связи (МАСУ).

2. Предоставление потребителям сети ресурса за счет использования скрытых ресурсов, определяемых базой распределения B_p , имеющей структурную $R^{\text{стр}}$ и функциональную $R^{\text{ф}}$ составляющие.

Обобщение вышеизложенных вариантов поведения сети позволяет записать выражение для определения показателя Δt_p :

$$\Delta t_p = \Delta t_p^{\text{стр}} + \Delta t_p^{\text{скр}}, \quad (15)$$

где $\Delta t_p^{\text{стр}}$ – время, необходимое на изменение структуры сети, т. е. на выполнение мероприятий, описанных в первой ситуации, т. е. применение МАСУ; $\Delta t_p^{\text{скр}}$ – время, необходимое для реализации решений по перераспределению ресурса пропускной способности, рассмотренных во второй ситуации.

Для $\Delta t_p^{\text{скр}}$ очевидна зависимость вида:

$$\Delta t_p^{\text{скр}} = f(M_{ij}^o, l_{ij}^M), \quad (16)$$

где M_{ij}^o – характеристика мобильности i -го объекта, используемого для реализации j -го решения по изменению структуры сети связи; l_{ij}^M – протяженность марша i -го объекта (МАСУ) в район выполнения задачи, соответствующей выполнению j -го решения.

Оценка мобильности на объектовом уровне, в этом случае, определяется:

$$M_{ij}^o = f(t_p, t_c, V_i^o), \quad (17)$$

как способность объекта (МАСУ) развертываться t_p , свертываться t_c и перемещаться V_i^o с нормативной скоростью в заданный район развертывания. Значения показателей t_p , t_c , V_i^o могут быть определены как нормативные для каждого типа объекта.

Протяженность марша i -го объекта (МАСУ) l_{ij}^M в заданный район развертывания, соответствующей выполнению j -го решения, зависит от топологии сетевых элементов (G) и принятого решения на размещение резервных сил и средств связи (подграфа размещения резервного ресурса – $g(G)$):

$$l_{ij}^M = f(g(G), G). \tag{18}$$

Зависимость времени марша и времени развертывания элементов МАСУ, от числа входящих в них аппаратных, можно представить в виде:

$$t_{ij}^M = \frac{l_{ij}^M}{V_i^o} + \alpha(l) \ln N_{ан}, \tag{19}$$

а время развертывания (свертывания):

$$t_{p(c)} = t_{p(c)}^* + \beta \ln N_{ан}. \tag{20}$$

где l_{ij}^M – протяженность марша (км); V_i^o – скорость движения одной транспортной единицы (км/ч); $N_{ан}$ – количество транспортных единиц в составе элемента сети; $\alpha(l)$ – коэффициент, учитывающий протяженность марша и изменяющийся в диапазоне от 0 до 1 (чем меньше протяженность марша, тем меньшее значение принимает $\alpha(l)$); β – коэффициент, учитывающий степень независимости работ при развертывании аппаратных.

При использовании нескольких элементов резерва для выполнения j -го управляющего воздействия по изменению структуры сети значение показателя $\Delta t_p^{стр}$ будет определяться максимальным значением из всех элементов, участвующих в реализации управленческого решения:

$$\Delta t_p^{стр} = \max_i \{ \Delta t_{ij}^{стр} \} = \max_i \{ f(M_{ij}^o, l_{ij}^M) \}, \tag{21}$$

где $i = \overline{1, I}$ – число элементов резерва, привлекаемых для реализации j -го управляющего воздействия.

Зависимость $\Delta t_p^{скр}$ может быть представлена выражением:

$$\Delta t_p^{скр} = \sum_j t_{оп}^{ст} + \sum_i t_{г}^{сд} + \sum_n t_{пк}^1, \text{ при } P_d(d_l) > 0, \tag{22}$$

где $t_{оп}^{ст}$ – среднее время оперативного переключения стволов (трактов) при использовании l скрытых линий связи (время установления связи на направлении связи); $t_{г}^{сд}$ – среднее время готовности l скрытых станций доступа к ведению информационного обмена между корреспондентами сети; $t_{пк}^1, n$ – среднее время проключения одного канала и требуемое количество каналов соответственно.

При использовании же нескольких элементов сети для выполнения управляющего воздействия по перераспределению нагрузки в сети значение показателя $\Delta t_p^{скр}$ будет определяться максимальным значением из всех элементов:

$$\Delta t_p^{скр} = \max_i \{ f(t_{оп}^{ст}, t_{г}^{сд}, I) \}, \tag{23}$$

где $i = \overline{1, I}$ – количество элементов сети, на которых необходимо выполнить изменения режимов работы средств связи.

Предлагаемый подход к оценке мобильности МАСУ, функционирующих в составе сети специальной связи, имеет относительную простоту вычислений и понятный физический смысл.

Пропускная способность

В общем случае, под пропускной способностью понимается свойство системы специальной связи передавать максимальное количество сообщений (поток сообщений) с требуемым качеством в единицу времени.

Пропускная способность направления связи (Y) определяется как функция от потока поступающих заявок на передачу сообщений (λ), объема передаваемых сообщений (w) и скорости их передачи (v), а также от числа каналов (N), необходимых для передачи данного объема сообщений с заданной (допустимой) вероятностью потерь (P):

$$Y = f(\lambda, W, V, N, P) \tag{24}$$

Таким образом, для обеспечения необходимой пропускной способности сети (направления) специальной связи должны выполняться условия:

$$\lambda \geq \lambda^* \text{ и } w \geq w^*, \text{ при } N \leq N^* \text{ и } v \leq v^*. \quad (25)$$

Техническая пропускная способность системы (сети) специальной связи ($Y^T(\lambda)$) определяется величиной, численно равной суммарной нагрузке, исполненной в единицу времени по всем направлениям (L) этой системы (сети) при соблюдении значений показателей качества обслуживания, заданных по каждому направлению связи:

$$Y^T(\lambda) = \sum_{i=1}^L Y_i^T(\lambda). \quad (26)$$

Взаимосвязь технической и реальной пропускной способностей определяется с помощью коэффициента пропускной способности ($K_{\text{проп.сп}}$) выражением:

$$Y^P(\lambda) = K_{\text{проп.сп}} \cdot Y^T(\lambda). \quad (27)$$

Коэффициент пропускной способности ($K_{\text{проп.сп}}$) системы (сети, направления) специальной связи характеризует причиненный ей ущерб и определяется отношением общего количества исправных каналов связи ($N_{\text{испр}}$) к общему количеству организованных каналов (N):

$$K_{\text{проп.сп}} = \frac{\sum_{i=1}^N N_{\text{испр}}}{N}. \quad (28)$$

Общее количество каналов (суммарная скорость передачи всех каналов связи), организованных в системе (сети, направлении) связи, определяет их потенциальную пропускную способность $Y^П(\lambda)$, при этом $Y^П(\lambda) \geq Y^T(\lambda) \geq Y^P(\lambda)$.

В системе (сети, направлении) специальной связи реальная (реализованная) пропускная способность в любых условиях ее функционирования должна быть не хуже требуемой ($Y^P \geq Y^{P*}$):

$$P_{\text{проп.сп}}(Y^P \geq Y^{P*}). \quad (29)$$

Эта вероятность должна быть не меньше требуемой, определяемой руководящими (нормативными) документами:

$$P_{\text{проп.сп}}(Y^P \geq Y^{P*}) = P_{\text{проп.сп}}^*. \quad (30)$$

Для оценки нагрузки, которую сеть специальной связи способна передать с учетом разветвленности ее структуры и скрытых ресурсов ΔY_G , которые предназначены для восстановления части утраченного ресурса пропускной способности при оперативном управлении сетью, вводится показатель потенциальной пропускной способности:

$$Y^П = Y^P + \Delta Y_G. \quad (31)$$

Разведзащищенность

Под разведзащищенностью понимают способность системы (сети, объекта) специальной связи противостоять различным видам разведки противника.

К основным показателям разведзащищенности относятся: среднее время скрытой от разведки противника работы ($t_{\text{скр}}$) системы (сети, элемента, объекта) специальной связи и вероятность такой работы ($P_{\text{скр}}$).

Частными показателями разведзащищенности являются время и вероятность обнаружения и распознавания объекта системы специальной связи ($t_{\text{обн}}$, $t_{\text{расп}}$, $P_{\text{обн}}$, $P_{\text{расп}}$).

Кроме того, выделяют частные показатели разведзащищенности от различных видов разведки: вероятности электромагнитной, частотной, поляризованной и временной доступности ($P_{\text{ЭМД, част.пол, вр}}$); время (среднее время) и вероятность вскрытия ($t_{\text{вскр}}$, $P_{\text{вскр}}$), дальность

ведения радиоразведки (r_{pp}); вероятность и точность определения местоположения объекта системы (P_{mn}, R_{ck}) и др.

Оценку разведзащищенности производят на объектовом и сетевом уровнях.

В первом случае, разведзащищенность отражает способность элементов сети скрывать факт и место своей работы, а также принадлежность к конкретному объекту специальной связи.

Разведзащищенность на сетевом уровне определяется как способность сети специальной связи сохранять в тайне от противника свой состав и структурно-топологические характеристики.

Критерий оценки разведзащищенности системы (сети, элемента, объекта) специальной связи определяется в результате сравнения среднего времени скрытой работы и его допустимого значения с требуемой вероятностью:

$$\bar{t}_{\text{скр}} \geq t^* \cdot C \cdot P_{\text{скр}} \geq P^* \quad (32)$$

Рассмотрим один из подходов к оценке разведзащищенности МАСУ, функционирующих в составе сети специальной связи.

Совокупность объектов сети специальной связи {множество – Ω }, состоящая из узлов (МАСУ) и линий связи им образованных. Причем, $\{\varepsilon\} \in \Omega$ – совокупность узлов связи (МАСУ), описанная на множестве разведывательных признаков X , а $\{C\}$ – совокупность линий связи, описанная на этом же множестве X .

Введем условие, определяющее, что объект сети специальной связи считается вскрытым, если осуществлено его оперативно-тактическое распознавание системой разведки противника с вероятностью не более 0,8:

$$P^*(\varepsilon_i) > 0,8 \quad (33)$$

Исходными данными для определения вероятности вскрытия сети – $P_k \{\varepsilon\}$ являются: совокупность объектов $\{\Omega\}$; описание совокупности объектов структуры G_y узлов связи (МАСУ) $\{\varepsilon\} \Rightarrow \{x_y\}$ и структуры $G_{\text{ЛС}}$ линий связи $\{C\} \Rightarrow \{x_{\text{ЛС}}\}$ на декартовом пространстве разведывательных признаков X ; N_y – количество узлов (станций) в составе сети специальной связи; $N_{\text{ЛС}}$ – количество линий связи в составе сети специальной связи.

Пусть $P(\varepsilon_i)$ – вероятность оперативно-тактического распознавания объекта по сопряженному с ним элементу сети. Тогда из условия (32) и классического определения вероятности через частоту появления событий можно записать:

$$P_k \{\varepsilon\} = \frac{N_{\text{вскв}}(\tau_k)}{N_y}, \quad N_{\text{вскв}}(\tau_k) = \sum_{N_y} \text{sign}(P(\varepsilon_i)) \quad (34)$$

где $N_{\text{вскв}}$ – число вскрытых узлов связи (МАСУ) на k -том этапе; τ_k – продолжительность k -го этапа; $\text{sign}(P(\varepsilon_i)) = \begin{cases} 0, P(\varepsilon_i) < 0,8 \\ 1, P(\varepsilon_i) \geq 0,8 \end{cases}$ – сигнальная функция, определяющая будет ли вскрыт узел связи (МАСУ) к исходу k -го этапа.

Для вычисления (33) достаточно определить $P(\varepsilon_i)$ для каждого объекта сети специальной связи:

$$P(\varepsilon_i) = P_{\text{вскв}} \cdot P(\varepsilon_i / C_i) \quad (35)$$

где $P_{\text{вскв}}$ – вероятность вскрытия C_i -ой линии связи, сопряженной с i -тым узлом связи (МАСУ); $P(\varepsilon_i / C_i)$ – вероятность узла связи (МАСУ), при вскрытии линии связи, сопряженной с ним.

Объекты ε_i и C_i описаны на едином пространстве разведывательных признаков вероятность $P(\varepsilon_i / C_i)$ (43) может быть определена через нахождение приращения (увеличения)

потенциальной ошибки метода классификации объекта ε_i при его оперативно-тактическом распознавании в системе разведки противника только по признакам объекта C_i .

Используя математический аппарат, изложенный в [5], можно записать выражение для вычисления ошибки классификации объекта ε_i по признакам сопряженного с ним объекта C_j , при этом для удобства заменим временно индекс объекта линии связи C_i на C_j при условии, что по физическому смыслу $i = j$.

$$\Delta P_{\text{оши}} = \sum_{i=1}^{n_{mi}} \sum_{j=1}^{n_{mj}} \left(p_i \cdot \left\{ 1 - F \left[\frac{O - m_{ij}}{\sigma_{ij}} \right] \right\} + p_j \cdot F \left[\frac{O - m_{ji}}{\sigma_{ji}} \right] \right), \quad (36)$$

где O – порог принятия решения; p_i, p_j – относительная частота появления разведывательных признаков в описании объектов на множестве X ; $F[Z] = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^Z e^{-\frac{t^2}{2}} dt$ – функция Лапласа; m_{ij}, m_{ji} , σ_{ij}, σ_{ji} – математические ожидания и среднеквадратичные отклонения дискриминантной функции соответственно для признаков i относительно j и j относительно i ; n_{mi}, n_{mj} – количество разведывательных признаков в i -том и j -том объектах, для которых осуществляется вычисление приращения ошибки классификации.

Интерпретируя вероятность $P(\varepsilon_i / C_i)$ как вероятность того, что вскрытие объекта сети повлечет за собой вскрытие объекта ε_i , можно записать:

$$P(\varepsilon_i / C_i) = P_{\text{вск } i} - \Delta P_{\text{оши } i}. \quad (37)$$

Подставляя (37) в выражение (35), получим, что вероятность вскрытия узла связи (МАСУ) равна:

$$P(\varepsilon_i) = P_{\text{вск } i} (P_{\text{вск } i} - \Delta P_{\text{оши } i}). \quad (38)$$

Полученное выражение позволяет осуществить оценку разведзащищенности МАСУ, функционирующих в составе сети связи.

Управляемость

Управляемость системы специальной связи – это способность системы при воздействии на нее должностных лиц органов управления связью изменять свое состояние в необходимых пределах.

Степень влияния органов управления определяется реакцией системы управления ($t_{\text{реакц}}$) на изменение состояния (необходимость такого изменения) системы специальной связи:

$$t_{\text{реакц}} \leq t_{\text{реакц}}^*. \quad (39)$$

Возможность системы к изменению своего состояния определяется коэффициентом устойчивости управления ($K_{\text{упр}}$), характеризующим пределы изменения показателей (ΔG) свойств системы специальной связи в заданные сроки с учетом внутренних и внешних воздействий:

$$K_{\text{упр}}^{\text{г, м, у, проп, рз}} = 1 - \frac{\Delta G}{G_{\text{max}}}, \quad (40)$$

где G_{max} – максимальное (потенциальное, предельно заданное) значение показателя каждого из свойств системы специальной связи.

Пределы изменения регулируемых показателей (ΔG) определяются как разность максимального их значения с реальными ($G_{\text{реал}}$), достигаемыми в процессе регулирования, т. е.:

$$\Delta G = G_{\text{max}} - G_{\text{реал}}. \quad (41)$$

Таким образом, способность системы специальной связи изменять свое состояние в необходимых пределах под воздействием подсистемы управления за время, не превысившее допустимое (то есть ее управляемость), может быть определена как вероятность ($P(G)$). Она является характеристикой такого события, при котором значение регулируемого показателя достигает своего предельного значения (в данных условиях) за время, не превышающее допустимое:

$$K_{\text{упрmin}} < K_{\text{упр}} \leq 1 \text{ И } t_{\text{реакт}} \leq t_{\text{реакт}}^* \quad (42)$$

В качестве критерия вероятностной оценки управляемости системы специальной связи принято выражение:

$$P_{\text{упр}}(G) \geq P_{\text{упр}}^*(G) \quad (43)$$

Заключение

Таким образом, МАСУ должны находиться в состоянии постоянной готовности к предоставлению потребителям необходимых телекоммуникационных услуг, устойчиво функционировать, быть мобильными, обладать необходимой пропускной способностью, быть достаточно разведзащищенными и управляемыми.

Представленная в работе оценка соответствия основных свойств системы (сети) специальной связи, неотъемлемыми элементами которых являются МАСУ, позволяет объективно выявить степень соответствия МАСУ своему целевому предназначению.

Литература

1. Моисеев А.А., Чуев А.В., Киселев А.А. Качество военной связи как совокупность ее основных свойств // Техника средств связи. 2018. № 7 (146). С. 119-126.
2. Боговик А.В., Игнатов В.В. Эффективность систем военной связи и методы ее оценки. – СПб.: ВАС, 2006. 183 с.
3. Моисеев А.А., Киселев А.А. Применение мобильных аппаратных связи для обмена данными с морскими объектами // Техника средств связи. 2020. № 2 (150). С. 10-17.
4. Астапенко Ю.А., Вайпан С.Н., Вакуленко А.А. Конфликтно-устойчивые радиоэлектронные системы. Методы анализа и синтеза. Монография. Под ред. С.В. Ягольников. – М.: Радиотехника, 2015. 308 с.
5. Коцыняк М.А., Осадчий А.И., Коцыняк М.М., Лаута О.С., Дементьев В.Е., Васюков Д.Ю. Обеспечение устойчивости информационно-телекоммуникационных сетей в условиях информационного противоборства. Монография. – СПб.: ЛО ЦНИИС, 2014. 126 с.

References

1. Moiseev A.A., Chuev A.V., Kiselev A.A. Kachestvo voennoj svjazi kak sovokupnost' ee osnovnyh svojstv Means of communication equipment. 2018. № 7 (146). Pp. 119-126 (in Russian).
2. Bogovik A.V., Ignatov V.V. Jeffektivnost' sistem voennoj svjazi i metody ee ocenki. Saint Petersburg: VAS, 2006. 183 p. (in Russian).
3. Moiseev A.A., Kiselev A.A. Primenenie mobil'nyh apparatnyh svjazi dlja obmena dannymi s morskimi ob'ektami. Means of communication equipment. 2020. № 2 (150). Pp. 10-17 (in Russian).
4. Astapenko Ju.A., Vaipan S.N., Vakulenko A.A. Konfliktno-ustojchivye radiojelektronnye sistemy. Metody analiza i sinteza. Monografija. Pod red. S.V. Jagol'nikova. Moscow. Radiotehnika, 2015. 308 p. (in Russian).
5. Kocynjak M.A., Osadchij A.I., Kocynjak M.M., Lauta O.S., Dementiev V.E., Vasyukov D.Ju. Obespechenie ustojchivosti informacionno-telekommunikacionnyh setej v uslovijah informacionnogo protivoborstva. Monografija. Saint Petersburg. LO CNIIS, 2014. 126 p. (in Russian).

Статья поступила 31 марта 2021 г.

Информация об авторах

Моисеев Анатолий Алексеевич – Кандидат военных наук, профессор. Заместитель директора научно-технического центра ПАО «Интелтех». Тел.: +79112950761. E-mail: saldv@inteltech.ru.

Киселев Алексей Алексеевич – Кандидат технических наук, доцент. Начальник сектора ПАО «Интелтех». Тел.: +79119621460. E-mail: saldv@inteltech.ru.

Адрес: 197342, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Кантемировская, д. 8.

Evaluation of basic properties of mobile hardware communication application

A.A. Moiseev, A.A. Kiselev

Annotation. *The article is a logical continuation of the previously published application of mobile hardware communication for data exchange with marine objects and justifies the assessment of the main properties of the special communication system (network) under various conditions. Assessment of readiness of MСPU to perform tasks on purpose in peacetime and at translation to wartime is carried out by means of system readiness factor or by probability of fulfillment of required set of measures for planned time of translation. Two approaches are proposed to assess the sustainability of the ISU. The first - by the coefficient of serviceable action, which is an integral indicator of vitality, noise immunity and reliability, the second - three-level, which allows to consider stability at object, structural and functional levels. Mobility is proposed to be estimated by probabilistic value or by interval of time required for provision of required capacity resource to user of MACA services. The capacity of the special communication system (network) is assessed at the technical, real and potential levels. The intelligence security of the special communication system is assessed by means of time and probability indicators at the object and network levels: the average time hidden from the enemy intelligence operation of the special communication system (network, element, object) and the probability of such operation, which are determined on the basis of the assessment of private indicators characterizing the degree of exposure of the special communication system (network, element) to the enemy intelligence. It is proposed to evaluate the controllability of the special communication system based on the time of response of the control system to state change (necessity of such change) and the stability factor of the control within the specified limits of change.*

Keywords: *mobile hardware communications and controls, readiness for use, stability of operation, mobility, throughput, intelligence security, manageability.*

Information about Authors

Moiseev Anatoly Alekseevich – Candidate of military sciences, professor, deputy director of scientific and technical center PJSC «Inteltech». Tel. +79112950761. E-mail: saldv@inteltech.ru.

Kiselev Alexey Alekseevich – Candidate of engineering sciences, docent, head of sector PJSC «Inteltech». Tel. +79119621460. E-mail: saldv@inteltech.ru.

Address: Russia, 197342, Saint-Petersburg, Kantemirovskaya st., 8.

Для цитирования: Моисеев А.А., Киселев А.А. Оценка основных свойств применения мобильных аппаратных связи // Техника средств связи. 2021. № 1 (153). С. 55-65.

For citation: Moiseev A.A., Kiselev A.A. Evaluation of basic properties of mobile hardware communication application. Means of communication equipment. 2021. No 1 (153). Pp. 55-65 (in Russian).

УДК 623.61

Подход к разработке показателей для оценки устойчивости функционирования систем управления морскими объектами при деструктивном воздействии

Давыдчик В.В., Можяева А.Э.

Аннотация. Статья посвящена разработке показателей устойчивости функционирования организационно-технической системы управления морскими объектами на основе учёта изменений ее вероятностно-временных характеристик при деструктивном внешнем воздействии. **Целью работы** является совершенствование научно-методического аппарата моделирования и обоснования систем управления в части разработки показателей для оценки их устойчивости функционирования. **Используемые методы:** семантический анализ свойств оперативности и устойчивости и раскрытие их взаимосвязей, методы моделирования сложных систем, методы теории вероятностей, методы теории эффективности, способы систематизации свойств и показателей сложных систем. **Новизна** состоит в подходе к разработке показателей для оценки устойчивости функционирования систем управления, основанном на учёте изменения вероятностно-временных характеристик системы управления; в разработке содержания и математических определений показателей устойчивости функционирования отдельных контуров управления и системы управления в целом, а также в разработке модификаций этих показателей. **Результаты:** проведённый анализ свойства оперативности показал возможность интерпретации изменчивости вероятностных характеристик системы управления при изменении внешних условий как проявление устойчивости её функционирования, которое может быть выражено и оценено с помощью ряда количественных показателей устойчивости. Предложен подход к построению системы показателей устойчивости функционирования систем управления, основанный на учёте изменения оперативности функционирования в динамике изменения условий обстановки при деструктивном внешнем воздействии. Введены и определены математические показатели устойчивости функционирования отдельных контуров управления и системы управления, в целом, а также варианты их модификаций. **Научно-теоретическая значимость** состоит в упорядочении и систематизации представлений о взаимосвязи свойств функционирования систем управления. Введённые показатели устойчивости отражают различные аспекты выполнения требований к оперативности, характеризуют устойчивость функционирования как отдельных контуров управления, так систем управления в целом, и могут быть использованы при совершенствовании научно-методического аппарата обоснования перспектив развития систем управления морскими объектами.

Ключевые слова: система управления, контур управления, оперативность, устойчивость функционирования, показатели эффективности, вероятностно-временные характеристики

Введение

Наиболее существенными свойствами систем управления (СУ) морскими объектами в условиях деструктивного внешнего воздействия являются оперативность и устойчивость их функционирования [1-3]. Основное внимание исследователи уделяют свойству оперативности, на достижение которой направлена автоматизация процессов управления. Вместе с тем исследование устойчивости систем управления ВМФ продолжает оставаться в стадии становления и, по нашему мнению, ещё не вполне обеспечено достаточными научно-теоретическими разработками. Так, в [2, 3] отмечается актуальность вопроса и намечаются направления научных исследований, но подходы к разработке методов оценки устойчивости функционирования систем управления ВМФ носят, в основном, интуитивно-эмпирический характер. В более поздних работах [4–9] уделяется определённое внимание раскрытию взаимосвязей учитываемых свойств и факторов, и в отдельных случаях предлагаются фрагменты математически корректных определений частного вида.

В настоящей статье представлен достаточно общий подход к определению метрик для построения системы показателей устойчивости функционирования систем управления

морскими объектами, основанный на учёте изменения оперативности функционирования в динамике условий обстановки при деструктивном внешнем воздействии, [5]. Введены и определены семантические и математические показатели устойчивости функционирования отдельных контуров управления и СУ в целом, а также варианты их модификаций.

Вводные положения

Объектом исследования является организационно-техническая система управления [2, 3], состоящая из органов и пунктов управления, а также средств управления и связи, организованных в функциональные подсистемы (контур управления) для обеспечения управления удалёнными объектами при решении ими поставленных задач в условиях обстановки, изменяющейся под воздействием естественных и искусственных деструктивных факторов.

Изменения обстановки характеризуются событиями, вызванными действиями управляемых объектов (УО) и деструктивными внешними воздействиями, и состоящими в изменении возможностей объектов и средств управления по обеспечению процессов управления, выражающимися в изменении значений показателей эффективности функционирования СУ, в частности, показателей оперативности.

В статье решается задача построения показателей, характеризующих устойчивость функционирования системы управления на основе оперативности её контуров управления.

Исходя из известных определений *времени цикла управления* и *оперативности управления*, например, [3], под *оперативностью функционирования системы управления* (ФСУ) понимается свойство, характеризующее способность системы управления реагировать на изменение обстановки за время, не более заданного (требуемого) при выполнении ограничений на значения характеристик иных существенных свойств ФСУ. СУ рассматривается состоящей из контуров управления, организованных для обеспечения управления УО при решении поставленных им задач в операционных районах.

Ввиду цикличности процесса управления и его быстротечности (относительно изменений обстановки) можно допустить стационарность условий обстановки в течение одного цикла управления и их вариативность для его различных реализаций.

За *показатель оперативности функционирования системы управления* принимается вероятность выполнения функций управления в контурах управления за время не более заданного.

Обозначения величин и их взаимосвязи

Рассмотрим процесс доведения коротких сообщений от органа управления (ОУ) до управляемого объекта.

Оперативность ФСУ (ОФСУ) в каждом контуре управления (для краткости, – оперативность контура управления) определяется для сообщений, отправляемых в конкретные моменты времени.

Критерием ОФСУ является достижение требуемого значения показателя оперативности функционирования системы управления.

Для СУ, как совокупности контуров, оперативность функционирования характеризуется совокупностью значений вероятности доведения сообщения за время не более заданного для каждого контура совокупности.

Сообщения, отправляемые в различные моменты времени, доводятся до адресата в контуре управления (КУ) в различных условиях обстановки и характеризуются, в общем случае, различными значениями вероятностно-временных характеристик (ВВХ) доведения. Аналогично, и для доведения сообщений по различным КУ и объектам управления имеет место различие ВВХ доведения, отражающее различие военно-географических условий обстановки в каждом контуре управления и месте нахождения управляемых объектов.

Введём обозначения и опишем соотношения для временных характеристик доведения сообщений при функционировании СУ в контуре управления решением задач (действиями) управляемым объектом (управляемыми объектами).

Пусть t – текущее время (моменты) решения задач УО;

$T_{\text{СУ}}$ – время (продолжительность) функционирования СУ:

$$T_{\text{СУ}} = t_{\text{к}} - t_{\text{н}}, \quad (1)$$

где: $t_{\text{н}}$ – момент начала функционирования СУ;

$t_{\text{к}}$ – момент окончания функционирования СУ;

$T_{\text{крит УО}}$ – время действий УО (по решению задачи) от $t_{\text{н}}$ до $t_{\text{крит УО}}$:

$$T_{\text{крит УО}} = t_{\text{крит УО}} - t_{\text{н}}, \quad (2)$$

где: $t_{\text{крит УО}}$ – момент окончания действий УО (по решению задачи) согласно сообщению.

Сообщения поступают в СУ в моменты $t_{\text{п}}[\text{п}]$,

где п – номер момента $t_{\text{п}}[\text{п}]$ поступления сообщения в СУ.

Тогда допустимое (максимальное) время доведения сообщения от момента $t_{\text{п}}[\text{п}]$ до $t_{\text{крит}}$ составляет:

$$T_{\text{доп с}} = t_{\text{крит УО}} - t_{\text{п}}[\text{п}]; \quad (3)$$

при ограничениях:

$$T_{\text{доп с}} = \min(t_{\text{к}}, t_{\text{крит УО}}) - t_{\text{п}}[\text{п}]; \quad t_{\text{крит УО}} < t_{\text{к}}. \quad (4)$$

Обозначая:

$t_{\text{р}}[\text{п}]$ – расчётный момент начала передачи сообщения;

T – время (продолжительность) доведения сообщения;

$T_{\text{крит с}}$ – допустимое время (продолжительность) доведения сообщения (от момента начала передачи $t_{\text{р}}[\text{п}]$ до момента окончания действий УО $t_{\text{крит}}$, имеем:

$$T_{\text{крит с}} = t_{\text{крит УО}} - t_{\text{р}}[\text{п}]. \quad (5)$$

Определим величину $T_{\text{крит СУ}}$ – допустимое время передачи-приёма сообщения (от момента $t_{\text{р}}[\text{п}]$ начала передачи сообщения до момента $t_{\text{крит}}$ прекращения его приёма управляемым объектом) как:

$$T_{\text{крит СУ}} = t_{\text{крит СУ}} - t_{\text{р}}[\text{п}], \quad (6)$$

где: $t_{\text{крит СУ}}$ – предельно допустимый момент окончания приёма сообщения.

По определению, $T_{\text{доп с}}$ есть время (продолжительность) реакции органа управления (ОУ) на сообщение, поступившее в момент $t_{\text{п}}[\text{п}]$:

$$T_{\text{доп с}} = T_{\text{ОУ}} + T_{\text{гот св}} + T_{\text{крит СУ}} + T_{\text{УО}}, \quad (7)$$

где $T_{\text{гот св}}$ – время приведения средств связи в готовность к передаче-приёму поступившего сообщения.

Введём величины, характеризующие ограничения на процесс доведения сообщения:

$T_{\text{зад дов}}$ (или $T_{\text{зад}}=d$) – заданное (допустимое) время доведения сообщения (с момента поступления в ОУ) (от $t_{\text{п}}[\text{п}]$ до $t_{\text{ок}}[\text{п}]$);

$T_{\text{зад пер}}$ – заданное (допустимое) время для передачи сообщения (с момента начала передачи $t_{\text{р}}[\text{п}]$).

Эти величины удовлетворяют неравенству:

$$T_{\text{зад дов}} \geq T_{\text{ОУ}} + T_{\text{гот св}} + T_{\text{зад пер}} \quad (8)$$

при допущении:

$$T_{\text{зад пер}} \geq r \cdot \Delta T, \quad (9)$$

где ΔT – время однократной передачи сообщения (шаг времени при расчёте вероятности доведения (от момента $t_{\text{р}}[\text{п}]$));

r – количество шагов при расчёте $T_{\text{зад пер}}$, входящее в выражение:

$$t_{\text{р}}[r] = t_{\text{р}}[\text{п}] + r \cdot \Delta T, \quad (10)$$

и $t_{\text{р}}[r]$ – расчётный момент окончания передачи сообщения.

Момент времени $t_{\text{ок}}[\text{п}]$ – предельно допустимый момент окончания доведения сообщения, поступившего в момент $t_{\text{п}}[\text{п}]$:

$$t_{ок}[П] = t_{п}[П] + \min (T_{зад дов}; T_{зад пер} + t_{р}[П] - t_{п}[П]). \tag{11}$$

Введённые временные характеристики представлены на рис. 1.

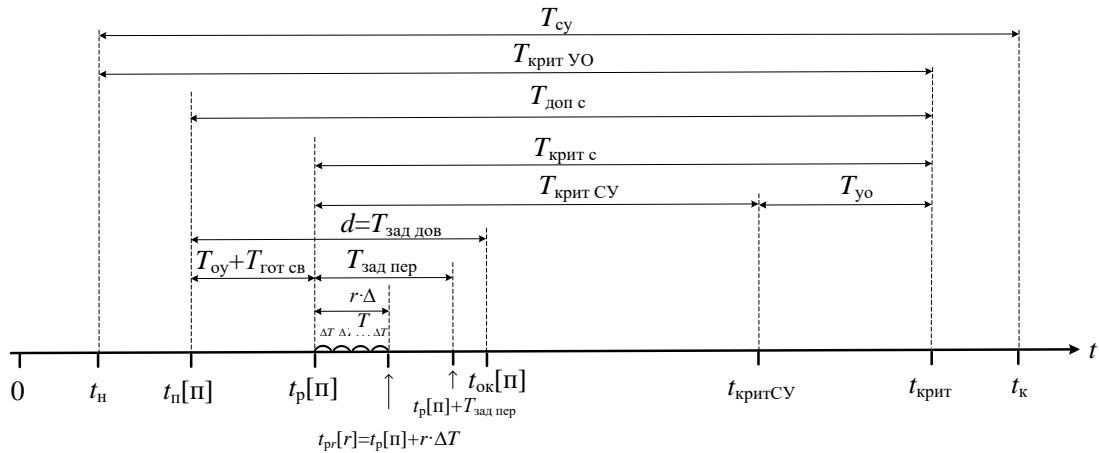


Рис. 1. Соотношения между временными характеристиками доведения сообщений

Подход к построению показателей устойчивости

Для определения показателей устойчивости функционирования СУ рассмотрим вероятностные характеристики основных введённых выше временных величин.

За основной показатель оперативности примем вероятность доведения сообщения за время не более заданного значения $T_{зад}$: $P(T \leq T_{зад})$.

А) Совокупность значений показателя оперативности СУ в контуре управления определяет закон распределения вероятности выполнения требований к циклу управления (рис.2, А).

Совокупность показателей оперативности контуров системы управления является показателем оперативности СУ в целом.

При расчёте оперативности контура управления значения вероятности доведения сообщения, поступившего в момент $t_{п}[П]$, вычисляются для расчётных моментов $t_{п}[П]+r \cdot \Delta T$ (т. е. в цикле по r), соответствующих многократным передачам сообщения в сеансе связи.

В общем случае, сообщения, отправляемые в различные моменты времени, доводятся в различных условиях обстановки (деструктивного воздействия), что может приводить к снижению значений вероятности доведения сообщений (красная пунктирная линия, рис. 2, Б).

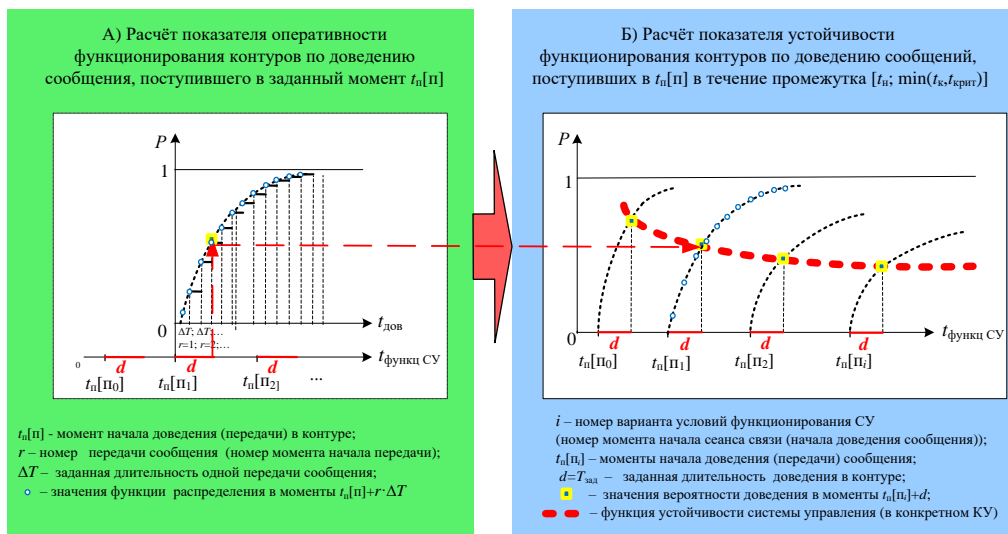


Рис. 2. Взаимосвязь схем расчёта значений показателей оперативности и устойчивости

При расчёте устойчивости функционирования контура управления значения вероятности доведения сообщений, поступивших в моменты $t_n[p_i]$ (в течение времени $[T_n, \min(T_k, T_{\text{крит}})]$), определяются для расчётных моментов $t_n[p_i] + d$ (в цикле по i – номеру момента начала доведения сообщения, соответственно, т. е. номеру варианта условий функционирования СУ).

Пунктирная красная линия на рис. 2, Б, соединяющая точки значений функций распределения вероятности доведения сообщений, отправляемых в различные моменты времени, характеризует изменение оперативности в динамике изменения условий функционирования СУ и может трактоваться как *функция устойчивости* ФСУ в рассматриваемом КУ.

Задача состоит в формулировании содержательных (семантических) показателей для оценки устойчивости функционирования организационно-технических систем управления удалёнными объектами при деструктивном воздействии, а также в их математическом определении.

Исходя из подхода, обозначенного на рис. 2, опишем искомые показатели устойчивости ФСУ (КУ).

За показатели устойчивости предлагается принять *разностные* показатели, характеризующие изменение оперативности либо для двух фиксированных моментов времени, либо для двух произвольных моментов промежутка времени ФСУ.

Эти показатели можно подразделить на *абсолютные* и *относительные*. Абсолютные (разностные) показатели устойчивости для КУ определяются как разности значений показателя оперативности для различных условий и характеризуют изменения (снижение или приращение) показателя оперативности при изменении условий в различные моменты функционирования.

Относительные показатели устойчивости для КУ определяются как отношение достигнутого уровня оперативности к фиксированному (начальному или требуемому) уровню.

Соответственно, за основные показатели устойчивости (в контурах системы управления) могут быть приняты:

- разность значений показателя оперативности ФСУ в двух точках (моментах времени), соответствующих различным условиям;
- наибольшее на промежутке времени ФСУ отклонение (снижение) достигаемых значений показателя оперативности ФСУ;
- наибольшее на промежутке времени ФСУ отклонение (снижение) достигаемых значений показателя оперативности ФСУ от требуемого уровня (значения) $P_{\text{тр}}$.

Эти основные показатели могут быть использованы для определения дополнительных показателей устойчивости, имеющих смысл доли времени функционирования системы управления или времени действий сил, в течение которого выполняются требования к оперативности.

В случае задания достаточно представительного множества сценариев обстановки (сценариев воздействия) дополнительный (долевой) показатель устойчивости может быть использован для раскрытия содержания вероятностного показателя устойчивости управления, упомянутого в [3], где в качестве «главного показателя устойчивости управления» предложена «вероятность надёжного управления силами при воздействии различных видов оружия и помех противника».

Определение показателей устойчивости

Конкретизируем введенные показатели и дадим их математические определения.

За основные показатели устойчивости ФСУ предлагается принять:

А) изменение (разность) значений показателя оперативности ФСУ при изменении условий функционирования. Этот показатель характеризует оперативность СУ для сообщений, отправляемых в различные моменты времени и определяется, например, следующим образом:

А1) как $U_1[j]$ – разность значений показателя оперативности в контуре управления j в двух точках (моментах времени), соответствующих различным условиям ФСУ;

А2) как $U_2[j]$ – наибольшее в течение промежутка времени ФСУ отклонение (снижение) достигаемых значений показателя оперативности ФСУ в контуре управления j от требуемого уровня (значения) $P_{тр}$.

Показатели U_1 и U_2 являются разностными показателями. При этом U_1 определён в двух фиксированных точках промежутка времени, а показатель U_2 – на всём промежутке времени.

Б) В качестве дополнительного показателя устойчивости ФСУ предлагается принять долю промежутка времени решения задачи управляемыми объектами, в течение которого выполнены требования к оперативности ФСУ. В частном случае, при доведении сообщений в конкретных контурах системы управления, для такого показателя рассматриваются сообщения, отправляемые в различные моменты времени в течение времени решения задачи управляемыми объектами.

Показатель Б) является долевым (пропорциональным), определённым на промежутке времени, и может быть назван долевым интервальным показателем. Он может быть интерпретирован как вероятность обеспечения группировки управляемых объектов информацией управления в течение времени решения ими задач, [4].

Установим области определения показателей А) и Б) и области их значений.

В зависимости от целей исследований областями определения могут являться промежутки с граничными значениями (рис. 1):

левое значение: $t_{лз} = t_{п[п]}$ или $t_{р[п]}$;

правое значение: $t_{пз} = t_{к}$ или $t_{критСУ}$ или $\min(t_{к}, t_{критСУ})$.

Для оценки времени доведения сообщений в СУ наиболее представительным является промежуток между $t_{р[п]}$ и $\min(t_{к}, t_{критСУ})$, в течение которого осуществляется доведение (непосредственно передача) сообщения управляемому объекту.

Областями значений могут быть промежутки с граничными значениями:

нижнее значение: $\min(P(T \leq T_{зад}))$;

верхнее значение: $\max(P(T \leq T_{зад}))$,

где: T – время доведения сообщения, отсчитываемое от левого граничного значения: $T = (t_{р[п]} + T) - t_{р[п]}$; (в зависимости от контекста $T_{зад}$ понимается как $T_{зад дов}$ или $T_{зад пер}$);

экстремум берётся по «п» (моментам времени поступления сообщений), принимающим значения между левым и правым значениями области определения:

$$t_{лз} \leq t_{п[п]} \leq t_{пз};$$

$T \leq T_{зад}$ и относится к j -му контуру управления (управляемому объекту).

Введённые показатели устойчивости имеют следующие математические определения.

Разностные показатели

1) Показатель устойчивости U_1 – изменение (разность) значений показателя оперативности ФСУ при изменении условий функционирования:

$$U_1[j] = P(T \leq T_{зад})|_{условия1} - P(T \leq T_{зад})|_{условия2}; \quad (12)$$

где $P(.)$ – вероятность события, указанного в скобках.

Способ определения значений показателя проиллюстрирован на рис. 3.

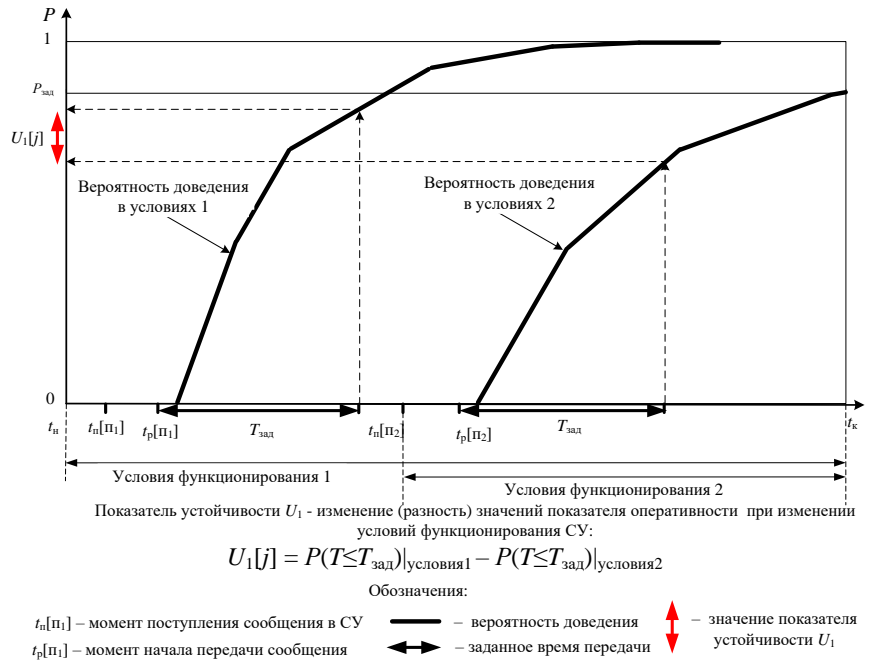


Рис. 3. Схема определения показателя устойчивости U_1

2) Показатель устойчивости U_2 – размах (наибольшее значение) изменения (снижения) показателя оперативности ФСУ в контуре j в течение промежутка времени ФСУ (абсолютный размах) (пояснения на рис. 4):

$$U_2[j] = \begin{cases} 0, & \text{если } P(T \leq T_{зад}) \text{ не выполняется ни при каких условиях обстановки;} \\ \max_{п}(P(T \leq T_{зад})|_{условия1}) - \min_{п}(P(T \leq T_{зад})|_{условия2}), & \text{если иначе.} \end{cases} \quad (13)$$

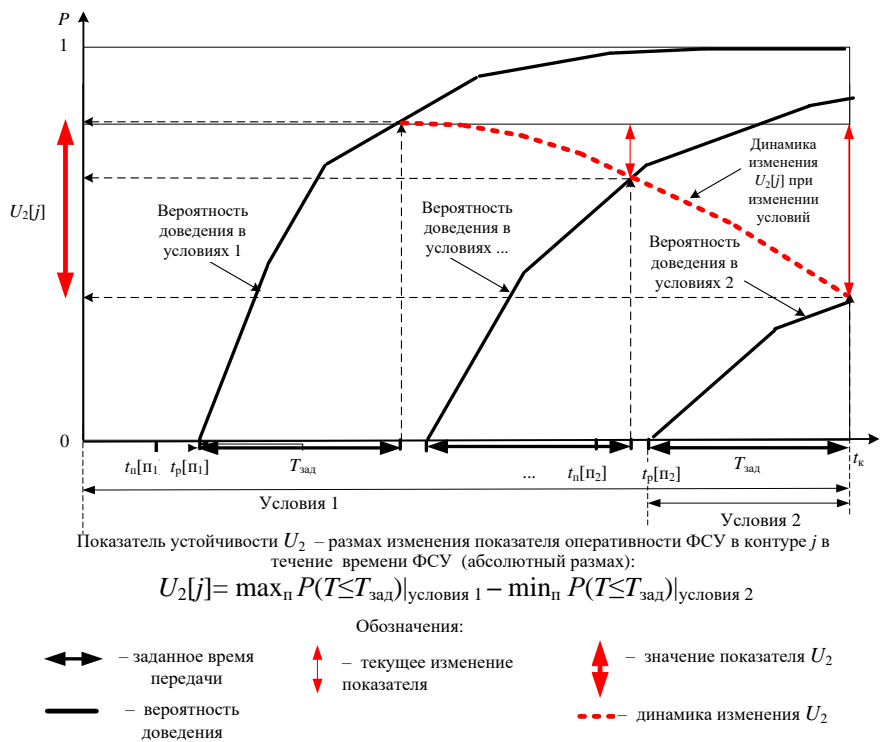


Рис. 4. Схема определения показателя устойчивости $U_2[j]$ в динамике изменения условий

3) Показатель U_3 – размах (наибольшее значение) изменения (снижения) показателя оперативности ФСУ относительно требуемого уровня (значения) $P_{\text{зад}}$ в контуре j в течение промежутка времени ФСУ (относительный размах), (рис. 5):

$$U_3[j] = P_{\text{зад}} - \min_{\Pi} P(T \leq T_{\text{зад}}). \tag{14}$$

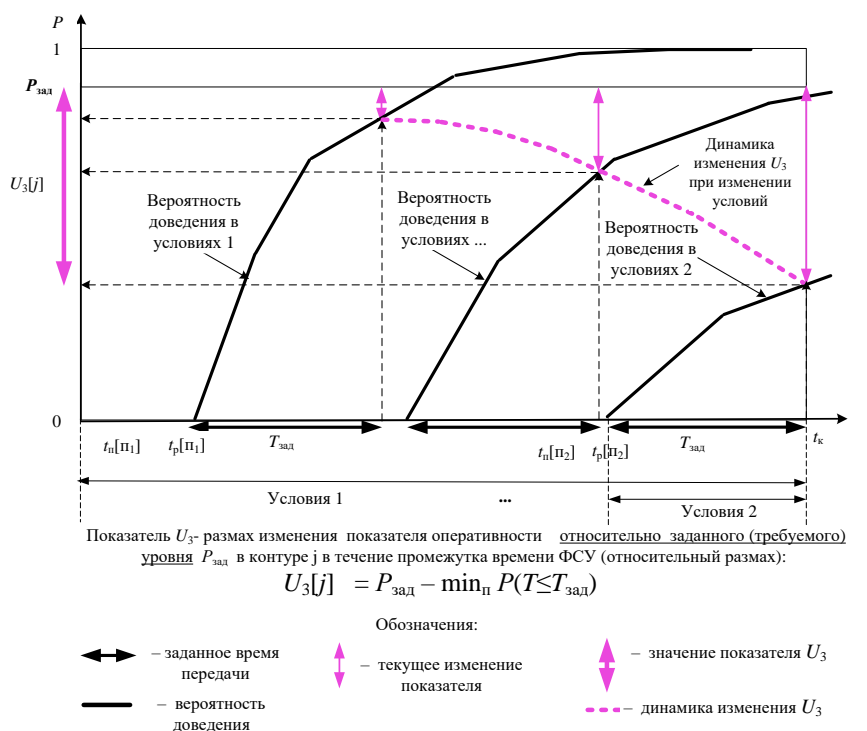


Рис. 5. Схема определения показателя устойчивости $U_3[j]$ в динамике изменения условий

Изложенный выше подход к построению показателей устойчивости через показатели оперативности относится к отдельным контурам управления. Для оценки устойчивости системы управления, объединяющей несколько контуров управления, необходимо рассматривать совокупность показателей устойчивости для множества КУ, что обуславливает многомерное представление показателя устойчивости системы управления. Переход к одномерному (скалярному) представлению может быть достигнут посредством свёртки частных показателей контуров и реализован ниже.

Долевые показатели

4) Определим показатель устойчивости $U_4[j]$, имеющий смысл доли времени функционирования СУ в контуре j , в течение которого сообщение может быть доведено за время не более заданного $T_{\text{зад}}$.

Для определения показателя U_4 разделим отрезок $[t_n, t_k]$ на равные отрезки длиной $T_{\text{зад}}$.

Допустим, что $T_{\text{зад}}$ не превосходит длины любого промежутка $[t_n[\Pi], t_n[\Pi+1]]$ между поступлениями сообщений и длины любого промежутка $[t_g[g+1], t_g[g]]$ между деструктивными воздействиями на СУ:

$$T_{\text{зад}} \leq \min (\min_{\Pi} (t_n[\Pi + 1] - t_n[\Pi]); \min_g (t_g[g] - t_g[g + 1])), \tag{15}$$

где g – номер воздействия.

Общее количество построенных таким образом отрезков равно

$$K = K[j] = E((t_k - t_n) / T_{\text{зад}}), \tag{16}$$

где $E(.)$ – целая часть выражения в скобках.

По построению, на каждом таком отрезке времени не происходит изменений условий функционирования СУ, т. е. в течение (и на концах) отрезков либо выполняются

требования к ВВХ доведения сообщений: $P(T \leq T_{\text{зад}}) \geq P_{\text{зад}}$, либо они не выполняются: $P(T \leq T_{\text{зад}}) < P_{\text{зад}}$.

Количество отрезков, для которых выполняется требование, составляет $\sum_{k=1}^K \theta_k$, где θ_k равно 1, если требование выполняется, и равно 0 в противном случае. А их суммарная длина

$$S = S[j] = \sum_{k=1}^K \theta_k \cdot T_{\text{зад}}, \quad (17)$$

Искомый показатель устойчивости $U_4[j]$ – доля времени функционирования СУ, в течение которого сообщение в контуре j может быть доведено (передано и принято) за время, не более заданного, с вероятностью не менее заданной, определяется формулой:

$$U_4[j] = S[j] / (t_k - t_n). \quad (18)$$

$U_4[j]$ удовлетворяет условию $0 \leq U_4 \leq 1$ и может быть интерпретирован как вероятность выполнения в контуре j требований к ВВХ доведения сообщения в течение промежутка $[t_n; t_k]$, а также принят за показатель устойчивости функционирования этого контура.

Соответственно, в качестве показателя устойчивости функционирования системы управления, как совокупности контуров, может быть принято Q – ожидаемое число контуров управления, для которых выполнены требования, значения этого показателя определяются формулой:

$$Q = \sum_{j=1}^J U_4[j], \quad (19)$$

где Q удовлетворяет условию $0 \leq Q \leq J$.

Нормируя (18), определим показатель Q_4 , имеющий смысл ожидаемой доли (вклада) контура j среди контуров системы управления, для которых выполнены требования $P(T \leq T_{\text{зад}}) \geq P_{\text{зад}}$:

$$Q_4[j] = U_4[j] / Q. \quad (20)$$

$Q_4[j]$ удовлетворяет условию $0 \leq Q_4 \leq 1$ и также, как и $U_4[j]$, может быть использован для сравнения устойчивости контуров в течение промежутка $[t_n; t_k]$.

Учёт потенциалов управляемых объектов

Рассмотрим вопрос учёта потенциальных возможностей управляемых объектов. Поскольку контуры управления могут иметь различную значимость для достижения целей управления, введём величину $c[j]$ – потенциал управляемых объектов в контуре j , где: $0 \leq c[j] \leq 1$; $c[1] + \dots + c[J] = 1$.

Тогда $w[j]$ – потенциал объектов в контуре j , обеспеченный управлением, удовлетворяющим требованиям к доведению сообщений, определяется как

$$w[j] = c[j] \cdot U_4[j], \quad (21)$$

соответственно, ожидаемый совокупный потенциал управляемых объектов в J контурах, удовлетворяющих требованиям к доведению сообщений, составляет:

$$W = \sum_{j=1}^J w[j]. \quad (22)$$

Показатель (22) может быть использован как обобщённая характеристика устойчивости функционирования системы управления, учитывающая потенциал управляемых объектов в J контурах, обеспеченный управлением, удовлетворяющим требованиям к ВВХ доведения сообщений.

Выводы

На основе свойства оперативности предложен единообразный подход к разработке системы показателей для оценки устойчивости функционирования систем управления морскими объектами в условиях динамических деструктивных воздействий.

Введённые показатели $U_1[j], \dots, U_4[j], Q_4[j]$ отражают различные аспекты выполнения требований к оперативности и характеризуют устойчивость функционирования отдельных

контуров управления. Показатели Q , W характеризуют устойчивость системы управления в целом. Выбор того или иного показателя зависит от целей и задач исследования в интересах обоснования перспектив развития систем управления морскими объектами.

Разработанная система показателей устойчивости позволяет конкретизировать представления о взаимосвязи свойств процессов функционирования систем управления и может быть использована при совершенствовании научно-методического аппарата обоснования перспектив их развития.

Литература

1. Автоматизация управления войсками. Под ред. Рябчука В.Д. – М.: Воениздат, 1977. – 301 с.
2. Автоматизация управления и связь в ВМФ. / Под общ. ред. Ю. М. Кононова. Изд. 2-е. – СПб.: «Элмор», 2001. – 512 с.
3. Информационные технологии в системе управления силами ВМФ. – СПб.: «Элмор», 2005, – 832 с.
4. Гвардейцев М.И., Кузнецов П.Г., Розенберг В.Я. Математическое обеспечение управления. Меры развития общества. – СПб.: Специальная литература, 2017. 222 с.
5. Применение общего логико-вероятностного метода для анализа технических, военных организационно-функциональных систем и вооруженного противоборства // В.И. Поленин, И.А. Рябинин, С.К. Свирич, И.А. Гладкова. Под ред. А.С. Можаяева – СПб.: СПб-региональное отделение РАЕН, 2011. – 416 с.
6. Кулешов И.А., Расчесова А.Г., Фортинский А.Г. Подходы к оценке эффективности современных систем связи // Техника средств связи: Научно-технический сборник. Выпуск 1 (140), СПб.: Изд-во политехн. ун-та. 2012. С. 70-78.
7. Густов А.А. Общий подход к оценке эффективности функционирования системы пунктов управления // Техника средств связи. 2018. № 1 (141). С. 281-287.
8. Николашин Ю.Л., Давыдчик В.В., Жуков Г.А. Определение оптимального состава малогабаритного приёмного комплекса средств связи подвижного управляемого объекта // Техника средств связи. 2018. № 1 (143). С. 4-10.
9. Пучков С.В. Современные подходы к оценке эффективности функционирования системы управления объединения в операции // Военная мысль. 2019. № 12. С. 68-75.

References

1. Automation of command and control of troops. Ed. Ryabchuk V.D. Moscow: Military Publishing, 1977. 301 p. (in Russian).
2. Automation of control and communication in the Navy. Under total. ed. Yu.M. Kononova. Ed. 2nd. - SPb .: "Elmore". 2001. 512 p. (in Russian).
3. Information technology in the control system of the Navy. SPb .: "Elmore", 2005. 832 p. (in Russian).
4. Gvardeytshev M.I., Kuznetsov P.G., Rosenberg V.Ya. Control software. Measures for the development of society. SPb, "Special Literature". 2017. 222 p. (in Russian).
5. Application of the general logical-probabilistic method for the analysis of technical, military organizational and functional systems and armed confrontation. V.I. Polenin, I.A. Ryabinin, S.K. Svirin, I.A. Gladkov. Ed. A.S. Mozhaeva - St. Petersburg: St. Petersburg Regional Department of the Russian Academy of Natural Sciences. 2011. 416 p. (in Russian).
6. Kuleshov I.A., Raschesova A.G., Fortinsky A.G. Approaches to assessing the effectiveness of modern communication systems. Means of communication equipment: Scientific and technical collection. Issue 1 (140), St. Petersburg: Polytechnic Publishing House. University. 2012. Pp. 70-78 (in Russian).
7. Gustov A.A. General approach to assessing the effectiveness of the system of control points. Means of communication equipment. 2018. No 1 (141). P. 281-287 (in Russian).
8. Nikolashin Yu.L., Davydchik V.V., Zhukov G.A. Determination of the optimal composition of a small-sized receiving complex of communication means of a mobile controlled object. Means of communication equipment. 2018. No 3 (143). Pp. 4-10 (in Russian).
9. Puchkov S.V. Modern approaches to assessing the effectiveness of the functioning of the management system of a merger in operations. Military thought. 2019. No. 12. Pp.68-75 (in Russian).

Статья поступила 12 апреля 2021 г.

Информация об авторах

Давыдчик Виталий Владимирович – Кандидат технических наук. Заместитель начальника научно-исследовательского отдела ПАО «Интелтех». Тел.: (812)313-16-73. E-mail:davydchikvv@inteltech.ru.

Можаева Асия Эльмановна – Инженер 1 категории научно-исследовательского отдела ПАО «Интелтех». Тел.: (812)313-16-73. E-mail:mozhaevaae@inteltech.ru.

Адрес: 197342, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Кантемировская, д.8.

Approach to the development of indicators for assessing the control systems functioning stability of the offshore facility under destructive impact

V.V. Davydchik, A.E. Mozhaeva

Annotation. The article is devoted to the development of indicators of the stability of the functioning of the organizational and technical management system of marine objects on the basis of taking into account changes in the probabilistic and temporal characteristics of its functioning with destructive external influences. **The aim of the work** is to improve the scientific and methodological apparatus for modeling and substantiating control systems in terms of developing indicators for assessing the stability of functioning. **Methods used:** semantic analysis of the properties of efficiency and stability and disclosure of their relationships, methods of modeling complex systems, methods of probability theory, methods of efficiency theory, methods of systematization of properties and indicators of complex systems. **The novelty** consists in the approach to the development of indicators for assessing the stability of the functioning of control systems, based on taking into account changes in the probabilistic and temporal characteristics of the control system; in developing the content and mathematical definitions of sustainability indicators for the functioning of individual control loops and control systems in General and in the development of modifications of these parameters. **Results:** the analysis of the efficiency property showed the possibility of interpreting the variability of the probabilistic characteristics of the control system under changing external conditions as a manifestation of the stability of its functioning, which can be expressed and evaluated using a number of quantitative indicators of stability. The proposed approach to the construction of a system of indicators of the stability of the functioning of management systems based on changes in the efficiency of functioning in the dynamics of change in the situation in destructive external influence. Mathematical indicators of the stability of the functioning of individual control circuits and the control system as a whole, as well as options for their modifications, are introduced and determined. **Scientific and theoretical significance** consists in the ordering and systematization of ideas about the relationship between the properties of the functioning of control systems. The introduced stability indicators reflect various aspects of meeting the requirements for efficiency, characterize the stability of the functioning of both individual control circuits and control systems as a whole, and can be used to improve the scientific and methodological apparatus for substantiating the prospects for the development of marine object management systems.

Keywords: control system, control loop, efficiency, stability of functioning, performance indicators, probabilistic-temporal characteristics.

Information about Authors

Vitaly Vladimirovich Davydchik – Candidate of Technical Sciences. Deputy Head of the Research Department of PJSC «Inteltech». Tel. : (812) 313-16-73. E-mail: davydchikvv@inteltech.ru .

Asiya Elmanovna Mozhaeva – Engineer of the 1st category of the Research Department of PJSC «Inteltech». Tel. : (812) 313-16-73. E-mail: mozhaevaae@inteltech.ru.

Address: 197342, Russia, St. Petersburg, st. Kantemirovskaya, 8.

Для цитирования: Давыдчик В.В., Можаева А.Э. Подход к разработке показателей для оценки устойчивости функционирования систем управления морскими объектами при деструктивном воздействии // Техника средств связи. 2021. № 1 (153). С. 66-76.

For citation: Davydchik V.V., Mozhaeva A.E. Approach to the development of indicators for assessing the control systems functioning stability of the offshore facility under destructive impact. Means of communication equipment. 2021. No 1 (153). Pp. 66-76 (in Russian).

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

УДК 621.39

Формирование сервера мониторинга функциональной безопасности информационно-телекоммуникационной сети общего пользования на основе оценки SRE-метрик

Аллакин В.В.

Аннотация. Постановка задачи: на основе анализа моделей и технологий обеспечения функциональной безопасности информационно-телекоммуникационных сетей осуществить выбор инженерных практик, поддерживающих надежную и безотказную работу сетевых элементов через построение сервера сетевого мониторинга. **Цель работы:** сформировать структуру сервера мониторинга функционального состояния информационно-телекоммуникационной сети. **Используемые методы:** технология Site/System Reliability Engineering, использующая метрики Service Level Indicator, Service Level Objective, Recovery Point Objective, Recovery Time Objective. **Новизна:** несмотря на то, что для многих программных и аппаратных средств инструменты мониторинга уже существуют, например, для мониторинга операционной системы Windows и Linux, но для многих отечественных аппаратно-программных средств таких агентов не существует. **Результат** проведенного исследования состоит в том, что предложена структура сервера мониторинга функционального состояния информационно-телекоммуникационной сети, включающая сборщик сырых данных, базу данных временных рядов и HTTP-сервер. Представлен вариант построения интерфейса отображения базовых метрик сервера мониторинга. Рассмотрены доступные модели и технологии построения сервера мониторинга.

Ключевые слова: информационно-телекоммуникационная сеть, ситуационный центр, функциональная безопасность, база данных временных рядов, метрики системы мониторинга.

Введение

Системы мониторинга функционированием информационно-телекоммуникационных сетей (ИТКС) общего пользования (ОП) справедливо относят к классу автоматизированных систем технического контроля, выполняющих задачи источника обобщенной информации о техническом состоянии сетевых узлов и периферийных устройств в режиме реального времени [1]. При этом структура и состав комплексов средств автоматизации системы мониторинга ИТКС ОП должны обеспечивать выделение и функционирование следующих логических подсистем:

подсистема сбора, обработки и отображения измерительной информации (ИИ), предназначенной для ее приема от встроенных систем контроля сетевых элементов, а также обработки, регистрации, хранения и выдачи в интересах пользователей системы;

подсистема контроля и диагностирования, предназначенная для контроля работоспособности сетевых элементов в процессе их функционирования и диагностирования неисправностей с точностью до отдельных программно-доступных типовых элементов замены;

подсистема связи и обмена данными, предназначенная для организации информационного взаимодействия составных частей системы с внешними абонентами и между собой;

подсистема защиты информации, предназначенная для недопущения утечки информации по техническим каналам и ее защиты от несанкционированных и случайных воздействий [2].

Базовые функции, реализующие целевое назначение систем мониторинга включают в себя совокупность методов и аппаратно-программных средств (АПС), которые для обеспечения сбора, хранения, обработки, вывода и распространения ИИ объединяются в технологические цепочки:

формирования единого координатно-временного поля и привязки к нему сетевых элементов и периферийных устройств, интеллектуальных управляющих агентов, событий и ИИ; документирования всех происходящих событий и используемых управляющих команд; обеспечения контроля состояния сетевых элементов и диагностирования отказов на них; формирования единого геоинформационного пространства распределенной ИТКС; обмена информацией между элементами системы мониторинга; интегрирования разнородной ИИ, полученной от подсистем встроенного контроля сетевых элементов в общее координатно-временное поле (т. н. третичная обработка информации); выявления фактов наступления событий (аномалий) в режиме реального времени.

Ключевым элементом системы мониторинга ИТКС является *сервер мониторинга*, который с позиции области применения и наблюдаемого пространства может формироваться по областям применения различно, но общим для его построения является наличие в составе основных информационных технологий мониторинга, в перечень которых можно включить следующие:

технологии информационно-технического взаимодействия с зависимыми элементами; технологии третичной обработки ИИ, повышающей качество информации об объекте; технологии обнаружения фактов наступления аномалий (аварий, отказов, сбоев.) на сети.

Цель статьи: сформировать структуру сервера мониторинга функционального состояния информационно-телекоммуникационной сети в составе ее подсистемы мониторинга.

Построение подсистемы мониторинга распределенной ИТКС ОП на основе технологии функционирования ситуационных центров

Анализ функционирования сложных организационно-технических объектов, увеличение количества элементов и подсистем современных территориально-распределённых производственных комплексов страны предполагает соответствующее развитие межведомственных систем управления и телекоммуникаций, приобретающих с одной стороны характер пространственной рассредоточенности, а с другой – полной автоматизации и автономности, и направленных на реализацию задач, сопряженных, как правило, с доведением управляющей информации в режиме реального времени [3]. При этом необходимо отметить, что современный этап развития сложных организационно-технических систем характеризуется повсеместным использованием информационных технологий (ИТ) на базе внедрения концепции «Индустрия 4,0» («умный» город, промышленный интернет, интернет вещей и пр.), в качестве основы которой используются различного рода системы, сети и телекоммуникации. В связи с чем на современном этапе необходимо развитие ИТ, обеспечивающих обработку больших объёмов информации, от разных источников, распределённых территориально и в пространстве.

Сегодня всё чаще слышатся утверждения о том, что современная Россия живёт в условиях «ручного управления», при этом оперативные решения вырабатываются по уже свершившимся фактам, а долговременные аналитические прогнозы на государственном уровне фактически не работают или полностью отсутствуют [4]. Это говорит о всё более возрастающей роли, создаваемой в последние годы практически во всех ведомствах и корпорациях сети ситуационных центров, как службы эффективной аналитической деятельности в сфере государственного управления с учётом информационных, технических, технологических и когнитивных аспектов развития отраслей народного хозяйства и целых регионов страны.

Ситуационный центр (СЦ) – это комплекс, концентрирующий информацию о подконтрольном пространстве от различных источников и обеспечивающий ситуационное управление, принятие управленческих решений с широким использованием информационно-коммуникационных технологий, моделей и методов ситуационного анализа [5]. Организационно СЦ состоит из сегментов: руководства органа государственного управления; мониторинга состояния подконтрольного пространства; ситуационного анализа и поддержки принятия решений; администрирования и эксплуатации АПС и средств защиты информации (СЗИ), рис. 1.

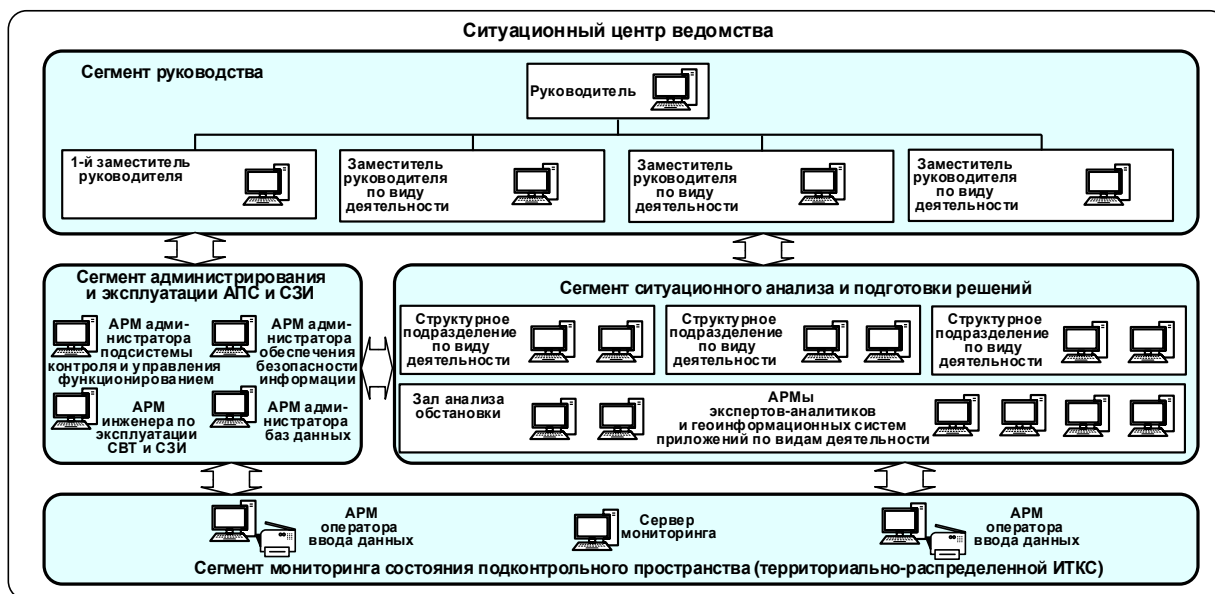


Рис. 1. Типовое решение программно-технического комплекса ситуационного центра [6]

Структура сервера мониторинга ИТКС и зависимых сетевых элементов

Как было указано выше, одним из основных сегментов СЦ является сегмент мониторинга, который представлен комплексом программных средств, предназначенных для сбора, обработки и хранения метрик объектов мониторинга, а также выдачи оповещений о нестандартных ситуациях.

Структурная схема сервера мониторинга ИТКС и зависимых элементов приведена на рис. 2.

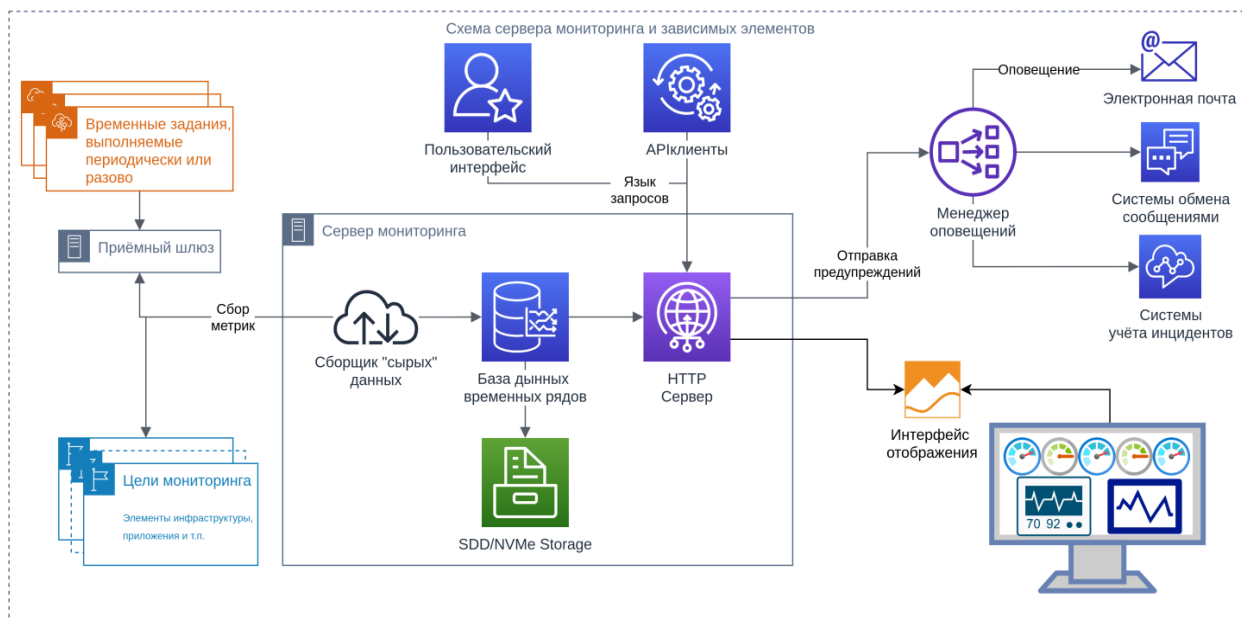


Рис. 2. Структурная схема сервера мониторинга ИТКС и зависимых элементов

Структурно *сервер мониторинга* состоит из сборщика сырых данных, базы данных временных рядов и *HTTP* сервера, функционирующих во взаимодействии с объектами мониторинга, и подсистемой оповещения и подсистемой отображения других сегментов СЦ. Сборщик сырых данных опрашивает объекты мониторинга по протоколу *HTTP* и помещает собранные метрики в базу данных временных рядов. В базе данных хранятся метрики

мониторинга за одним и тем же объектом на протяжении заданного времени наблюдений. Таким образом, возможно определение изменений значений параметров объекта во времени.

К объектам мониторинга относятся объекты (сетевые элементы) контролируемого пространства ИТКС, с которых собираются метрики. Они могут предоставлять информацию в виде, понятном для сервера мониторинга. В противном случае необходима разработка вспомогательного программного обеспечения (ПО), которое преобразует данные, предоставляемые объектом мониторинга в понятный для сервера мониторинга вид. Для многих программных и аппаратных средств такое ПО уже существует, например, для мониторинга операционной системы (*Windows, Linux*), или оборудования *mikrotik*, но для многих продуктов таких агентов не существует, поэтому требуется разработка необходимого ПО специалистами сегмента мониторинга СЦ, в зависимости от используемой аппаратно-программной платформы.

Подсистема оповещения предназначена для оповещения диспетчера сегмента мониторинга о нестандартных ситуациях, при выходе метрики (какого-либо параметра) за пределы пороговых значений. Она состоит из менеджера оповещений, который принимает сигналы от сервера мониторинга и клиентов, интегрирующих систему оповещения с каналами оповещения. Оповещения могут приходить к конечному пользователю системы мониторинга по любым каналам: звуковая и световая сигнализация, e-mail, мессенджеры (*telegram, whatsapp, jabber* и т. д.), sms. Выбор способа оповещения ограничен возможностями системы мониторинга.

Подсистема отображения предназначена для визуального отображения собираемой измерительной информации и ее оценочных значений после обработки. Как правило, она состоит из интерфейса, который собирает данные о значениях необходимых метрик объектов мониторинга за установленный промежуток времени из базы данных временных рядов и размещают их на экране в виде интерактивных графиков, таблиц, диаграмм, схем, которые отображают параметры текущего функционального состояния объектов мониторинга.

При этом у оператора сервера мониторинга всегда имеется возможность выбора конкретного интерфейса или конкретного вида нагрузки на целевом сетевом элементе и его компонентах. Так, например, на рис. 3 показано отображение базовых метрик, собранных с целевого узла ИТКС за последние 24 часа: верхний ряд – текущие характеристики с обновлением каждые 15 секунд, статистика по использованию процессора, статистика по использованию оперативной памяти и жёстких дисков, суммарная скорость передачи на всех сетевых интерфейсах.

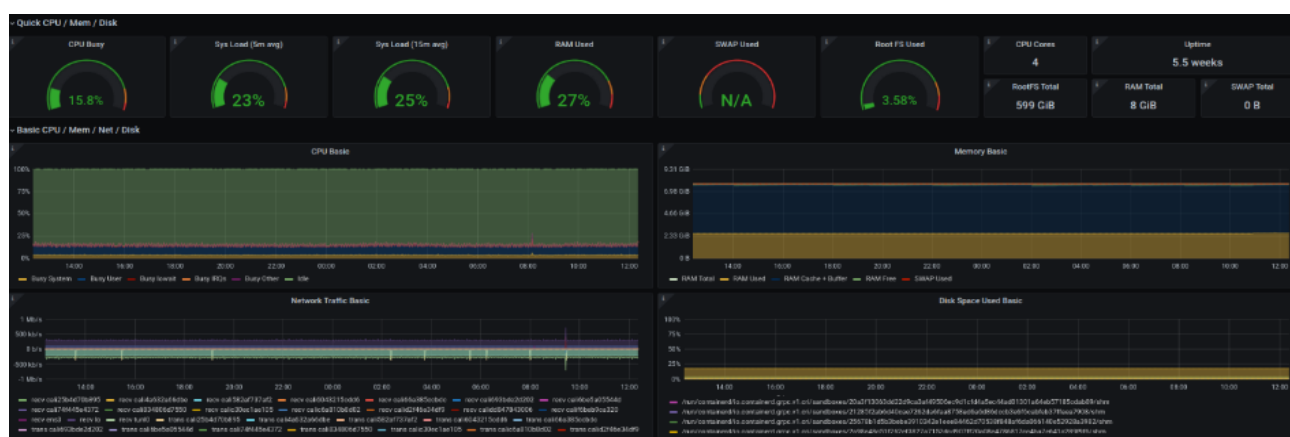


Рис. 3. Интерфейс подсистемы отображения базовых метрик

Также оператор сервера мониторинга должен иметь возможность укрупнения (агрегации) данных временных рядов по конкретной метрике или по тем метрикам, которые влияют на проявление аномалии. Так, на рис. 4 выделены области превышения метрик заданных порогов.

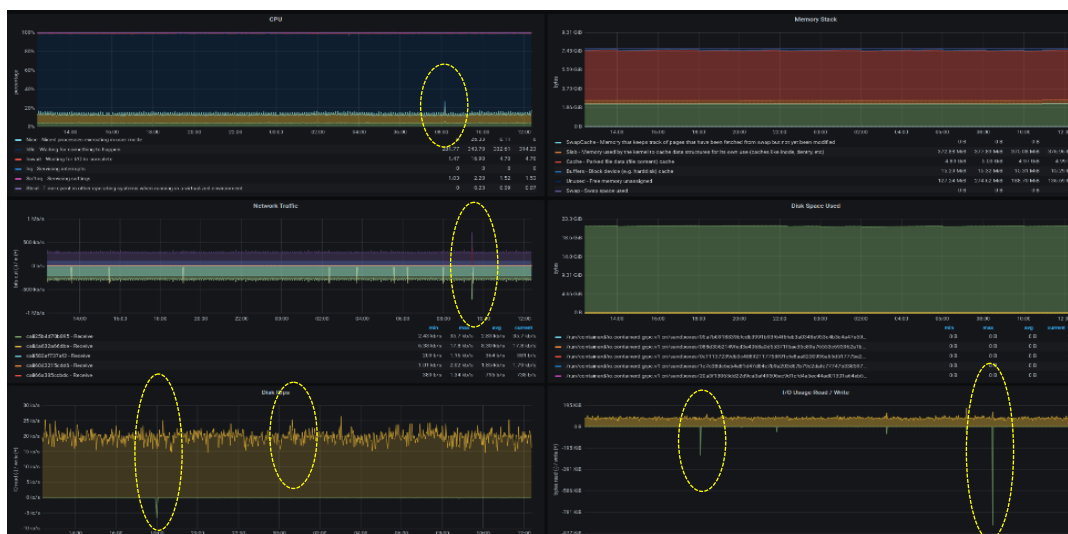


Рис. 4. Интерактивный вид интерфейса подсистемы отображения базовых метрик

Модели и технологии обеспечения функциональной безопасности ИТКС ОП

Базовые понятия надежности, работоспособности и поддержки функциональной устойчивости сетевых структур определены в международном стандарте ISO 9126:1991 [7], предусматривающем два основных направления поддержки функциональной безопасности: обеспечение надежности и ее оценку. Обычно модели оценки основаны на математическом аппарате теории надежности с принятыми допущениями и ограничениями, влияющими на оценку. При этом в качестве основных источников информации принято считать процессы тестирования ИТКС в различных условиях внутренних и внешних воздействий. Классификационно различают аналитические и эмпирические модели оценки надежности, функциональной устойчивости и работоспособности ИТКС. Причем если аналитические модели позволяют вычислить количественные показатели надежности системы, используя данные о ее поведении в процессе тестирования, то эмпирические – в основном базируются на анализе особенностей ее структуры. В свою очередь в классе аналитических моделей рассматриваются динамические модели, в которых проявление отказов системы наблюдают во времени, и в статике, когда число отказов зависит от числа прогонов теста или от характеристик входных данных.

При проектировании сложных технических систем, таких как ИТКС, для определения отказов обычно используются структурные схемы надежности, в которых элементы системы соединяются между собой различными способами: последовательно, параллельно, смешанно или произвольно [8]. В таких структурных схемах надежности в качестве основных показателей оценивают вероятность безотказной работы и вероятность отказа. Причем здесь основными динамическими аналитическими моделями используют модели Шумана, Ла Падула, Муса, Джелинского-Моранды, Шика-Вольвертона, переходных вероятностей, а основными статистическими аналитическими моделями – модель последовательностей испытания Бернулли, модели Нельсона, Липова, Милса. Данные модели представляют подход, имеющий ограничение в виду с ведением постоянного тестирования современных сетевых инфраструктур. При этом в случае отсутствия информации наблюдения за сетевым элементом ИТКС или прекращения ее обновления на рабочем месте администратора подсистемы мониторинга в процессе тестирования рассматривается как отказ системы. Действительно, для поддержания функциональной безопасности устройств и узлов распределенной инфраструктуры современных ИТКС, протекающие в них процессы должны подвергаться постоянному контролю и мониторингу [9].

Оценка изменений температуры, электромагнитных и звуковых спектров, амплитуды и частоты вибраций и т. д., получаемая от сенсоров и датчиков при тестировании и функционировании сетевых элементов во времени может заблаговременно сигнализировать о нарастании в них предаварийных процессов, ведущих к аномальному состоянию, аварии, отказу. Поэтому альтернативой различных видов аналитических моделей могут служить прогнозные модели, на основе оценок технических характеристик ИТКС: размер, структура, число отказов и пр.

На сегодня в телекоммуникационной отрасли активно ведется поиск и внедрение новых технологий поддержания функциональной безопасности ИТКС и систем, направленных на обеспечение их эксплуатационной надежности. Одной из них, все более настойчиво расширяющей рынок ИТ-услуг для телеком-операторов, является технология *SRE (Site/System Reliability Engineering)*, рассматриваемая как набор инженерных практик, поддерживающих надежную и безотказную работу приложений в настоящем и будущем. Указанная технология направлена, прежде всего, на способность обнаружить проблемы и аномальные ситуации при функционировании сетевого оборудования до того, как о них сообщат абоненты. Слово "site" в англоязычной версии написания технологии используется в широком смысле и предполагает обеспечение на всех логических уровнях ИТКС функциональной надёжности ее элементов.

SRE-технология ориентирована на решение внутренних задач ИТКС с возможностью измерения времени безотказной работы сетевых элементов и сервисов, четким определением доступности к ним с учетом внезапных форс-мажоров и требуемой масштабируемости. Технология предполагает взаимную интеграцию рабочих процессов специалистов с профилем информационно-технологического обслуживания и специалистов по разработке ПО с устранением организационных барьеров между ними. При этом используют единые индикаторы оценки функциональной безопасности (метрики) в ИТКС наряду с применением общей ответственность всех участников предоставления информационно-телекоммуникационных услуг.

SRE-метрики поддержания функциональной безопасности ИТКС ОП

Одной из основных задач *SRE*-технологии, связанной с функциональной безопасностью является вычисление и обеспечение заданного уровня доступности к элементам ИТКС. Обычно в *SLA*-договоре [10] между телеком-оператором (как поставщиком телекоммуникационной услуги) и ее получателем при описании процесса управления доступностью указывают такие параметры оценки качества ИТ-сервиса, называемые метриками, как: доступность (*availability*); надежность (*reliability*); производительность (*performance*); безопасность (*security*); обслуживаемость (*serviceability*); сопровождаемость (*maintainability*) [11]. Причем *SLA*-договор определяет регламент взаимоотношений с абонентами, как потребителями ИТ-услуг, в то время как *SRE*-технология необходима в первую очередь для внутреннего регламента при взаимодействии служб технической поддержки ИТКС. Поэтому требования, заданные к качеству ИТ-услуг *SRE*-стандартом, как правило, жестче, чем те, которые прописаны в *SLA*-договоре. При этом уточняется, какие именно показатели функциональной надежности ИТКС должны подвергаться мониторингу, измерениям и оценке. Так, индикаторами доступности *SRE* являются такие метрики времени как:

SLI (Service Level Indicator) – пропускные способности, количество запросов в секунду, число сбоев на запрос, задержки запросов. Данные метрики агрегируются во временные ряды и переводятся в среднее по сравнению с порогом, или представляются в процентном отношении;

SLO (Service Level Objective) – целевые показатели метрик времени *SLI* за отчетный временной период: год, квартал, месяц, сутки и пр.

Поскольку любой простой ИТКС грозит телеком-оператору убытками, то текущие значения метрик *SRE* представляют в режиме *on-line* [12], что относится к задачам *DevOps*- и *SRE*-инженеров:

RPO (Recovery Point Objective) – максимальный период времени, за который могут быть потеряны данные в результате инцидента (целевая временная точка восстановления системы).

Для телеком-оператора *RPO* метрику надо минимизировать или в идеале свести к нулю, $RPO \rightarrow 0$. Например, такие инструменты, как автоматическая репликация данных в файловой системе снижает *RPO*, но для повышения доступности всего сервиса этого недостаточно;

RTO (Recovery Time Objective) – интервал времени, в течение которого ИТКС может быть недоступной в случае отказа или аварии (целевое время восстановления системы). Данное время необходимо для восстановления полного функционирования сервиса (системы) после возникновения аварии. *SRE*-инженеры должны организовать систему так, чтобы с использованием технологий отказоустойчивости и восстановления данных из резервных копий восстановить работоспособность системы на резервном сервере (оборудовании), площадке.

Представим ИТКС в виде сложной иерархической структуры S , включающей в себя множество сетевых элементов, рассматриваемых как объекты мониторинга $S = \langle O_1, O_2, \dots, O_i, \dots, O_n \rangle$. Рассмотренные метрики функционального состояния элементов сети, а также их взаимодействия с остальными узлами ИТКС, в целом позволяют выделить кортеж характеристик H_i ($i = 1, 2, \dots, n$), свойственные каждому отдельному O_i -му объекту или сегменту сети с агрегацией временных рядов: $H_1(O_1) = \langle h_{11}, h_{12}, \dots, h_{1m} \rangle$, $H_2(O_2) = \langle h_{21}, h_{22}, \dots, h_{2m} \rangle, \dots, H_n(O_n) = \langle h_{n1}, h_{n2}, \dots, h_{nm} \rangle$, где h_{nm} – набор характеристик O_n -го объекта мониторинга на m -м интервале времени, из которых и агрегируются временные ряды. При этом в качестве характеристик рассматриваются внешние и внутренние признаки, по которым осуществляется анализ текущего состояния объекта мониторинга.

Поскольку одним из ключевых задач на сети является обеспечение устойчивости функционирования ее инфраструктуры, состоящей из контролируемых элементов, то актуальная оценка состояния этих сетевых элементов (объектов мониторинга) и является критерием эффективного функционирования ИТКС. Для такой оценки состояния функциональной безопасности объекта мониторинга на основе рассматриваемых внутренних и внешних признаков используются следующие виды статистических данных: численные, интервальные, ранговые и номинальные. Обработка системой мониторинга собираемых с объектов ИТКС статистических данных позволяет осуществить идентификацию различного рода отклонений от нормального режима функционирования. Причем общий подход к анализу технического состояния сетевых элементов ИТКС предполагает применение процессов, функционирующих в них путем опроса основных узлов объекта мониторинга, сбора диагностических данных и формирование отчетов в заданные интервалы времени. Обычно в качестве таких процессов выступают различного рода сканеры состояния, работа которых разбивается на такие шаги как: анализ на сетевом элементе активных *IP*-адресов, открытых портов, развернутой на нем операционной системы и приложений, составление подробного отчета о состоянии сетевого элемента, см. рис. 3 и 4. При этом система мониторинга позволяет в интерактивном режиме отображать конкретный интерфейс или вид нагрузки, с заданными интервалами времени обновления.

Подсистема мониторинга ИТКС может функционировать в двух режимах. В первом случае сервер мониторинга прослушивает работу сетевых элементов и формирует выборку статистических данных об их надёжности, во втором – дополнительно осуществляет рассылку запросов (интеллектуальных агентов в виде управляющих пакетов) на сетевые узлы и измеряет различные характеристики технических средств, входящих в их тракты взаимодействия. В различных режимах работы ИТКС и её элементов могут наблюдаться аномалии, требующие более детального изучения на предмет оценки функционального состояния. При этом получение ИИ о конечном состоянии сетевого элемента на основе статистических данных протоколов прикладного уровня взаимодействия с подсистемой (сервером) мониторинга путем осуществления пассивного и активного мониторинга позволяет выполнить построение классификатора состояния.

Заключение

Предложена архитектура сегмента мониторинга функционального состояния ИТКС ОП в составе ситуационного центра. Ключевым элементов подсистемы мониторинга является сервер

мониторинга, структурно включающий сборщик сырых данных, базу данных временных рядов и *HTTP* сервер. Представлен вариант построения интерфейса отображения базовых метрик сервера мониторинга. Рассмотрены доступные модели и *SRE*-технология построения системы мониторинга ИТКС ОП. При этом сетевой мониторинг в *SRE*-метриках на сегодня является единственным объективным и надежным методом (технологией) оценки параметров эффективного функционирования ИТКС, что требует разработки и совершенствования *SRE*-инструментария. Причем задачей оптимизации является минимизация значений метрик *RPO* и *RTO*. Здесь же важно отметить, что в сетевом мониторинге только режим реального времени поможет получить телеком-оператору объективную картину по *SRE* метрикам доступа потребителей услуг к приложениям ИТКС. Данные приложения условно делят на две основные группы: при неудовлетворительной работе которых может наступить уголовная ответственность пользователя (работа критически важных приложений), и использование которых при низком качестве сетевых услуг несет финансовые и репутационные потери абонента [13]. В этих случаях *SRE*-метрики могут лечь в основу судебных претензий к телеком-оператору, при включении их качества в *SLA*-договор [12].

Литература

1. Зацаринный А.А., Сучков А.В., Босов А.В. Ситуационные центры в современных информационно-телекоммуникационных системах специального назначения // *ВКСС Connect!* (Ведомственные корпоративные сети и системы). – 2007. – № 5 (44). – С. 64-74.
2. Айдаров Е.Ю., Неилко О.Б., Панченко В.В., Растрелин А.М. Информационные технологии мониторинга состояния на основе сбора информации от технических средств наблюдения / Сб. статей Методы построения и технологии функционирования ситуационных центров. – М.: ИПИ РАН, 2011. (С. 124-135). 258 с.
3. Винограденко А.М. Методология интеллектуального контроля технического состояния автоматизированной сети связи специального назначения. – СПб.: Научно-технологические, 2020. – 180 с.
4. Зацаринный А.А., Шабанов А.П. Технология информационной поддержки деятельности организационных систем на основе ситуационных центров. – М.: ТОРУС ПРЕСС, 2015. – 232 с.
5. Зацаринный А.А., Королёв В.И. Информационная безопасность ситуационных центров // Системы и средства информатики. 2016. Т. 26. № 1. С. 121-138.
6. Зацаринный А.А., Сучков А.П. Системы ситуационных центров специального назначения. Основные определения, понятия и подходы к созданию // Межотраслевая информационная служба, 2015. №4. С.31-41.
7. ISO 9126:1991 [Электронный ресурс]. – 2000. – Режим доступа: <https://www.cse.unsw.edu.au/~cs3710/PMmaterials/Resources/9126-1%20Standard.pdf>.
8. Аллакин В.В., Будко Н.П. Идентификация состояния узлов информационно-телекоммуникационных сетей общего пользования подсистемой мониторинга информационной безопасности // Техника средств связи. 2020. № 3 (151). С. 58-64.
9. Каляев И.А. Реконфигурируемые вычислительные системы. – Ростов-на-Дону: Изд-во Южного федерального ун-та, 2016. – 472 с.
10. <https://www.osp.ru/itsm/2012/09/13017362.html> (дата обращения 21.03.2021).
11. <https://olontsev.ru/2016/04/rpo-and-rto/> (дата обращения 21.03.2021).
12. https://ru.wikipedia.org/wiki/Соглашение_об_уровне_услуг (дата обращения 21.03.2021).
13. Сторожук М. Использование систем мониторинга сетей для обеспечения работы критически важных приложений // Первая миля. 2021. № 1. С. 40-44.

References

1. Zatsarinny A.A., Suchkov A.V., Bosov A.V. Situacionnye centry v sovremennykh informacionno-telekommunikacionnykh sistemakh special'nogo naznacheniya [Situational centers in modern information and telecommunications systems of special purpose]. *Connect* [Departmental corporate networks and systems], 2007, no 5 (44), pp. 64-74 (in Russian).
2. Aydarov E.Yu., Neill O.B., Panchenko, V.V., Rastrelin A. M. Informacionnye tekhnologii monitoringa sostoyaniya na osnove sbora informacii ot tekhnicheskikh sredstv nablyudeniya [Information technology condition monitoring based on collecting information from technical means of observation]. *Sb. statej «Metody postroyeniya i tekhnologii funkcionirovaniya situacionnykh centroV»* [Collection articles construction Methods and technologies for the functioning of the situational centers]. Moscow, IPI RAN, 2011, (pp. 124-135), 258 p. (in Russian).
3. Vinogradenko A.M. *Metodologiya intellektual'nogo kontrolya tekhnicheskogo sostoyaniya avtomatizirovannoj seti svyazi special'nogo naznacheniya* [Methodology of intelligent control of the technical condition

of the automated communication network for special purposes]. Saint Peterburg, Military Academy of Communications Publ., 2020, 180 p. (in Russian).

4. Zatsarinny A.A., Shabanov A. P. *Tekhnologiya informacionnoj podderzhki deyatel'nosti organizacionnykh sistem na osnove situacionnykh centrov* [Technology of information support for the activities of organizational systems based on situational centers]. Moscow, TORUS PRESS Publ., 2015, 232 p. (in Russian).

5. Zatsarinny A.A., Korolev V.I. Informacionnaya bezopasnost' situacionnykh centrov [Information security of situational centers]. *Systems and Means of informatics* 2016, vol. 26, no. 1, pp. 121-138. (in Russian).

6. Zatsarinny A.A., Suchkov A.P. Sistemy situacionnykh centrov special'nogo naznacheniya. Osnovnye opredeleniya, ponyatiya i podkhody k sozdaniyu [Systems of situational centers of special purpose. Basic definitions, concepts, and approaches to creation]. *Intersectoral Information Service*, 2015, no. 4, pp. 31-41. (in Russian).

7. ISO 9126:1991 [Electronic resource]. 2000. Access mode: <https://www.cse.unsw.edu.au/~cs3710/PMmaterials/Resources/9126-1%20Standard.pdf>.

8. Allakin V.V., Budko N.P. Identification of the state of nodes of information and telecommunications networks of general use by the subsystem of information security monitoring. *Means of Communication Equipment*. 2020. No. 3 (151). Pp. 58-64 (in Russian).

9. Kalyaev I.A. *Rekonfiguriruyemye vychislitel'nye sistemy* [Reconfigurable computing systems]. Rostov-on-Don, Publishing house of the Southern Federal University, 2016, 472 p. (in Russian).

10. <https://www.osp.ru/itsm/2012/09/13017362.html> (accessed 21.03.2021).

11. <https://olontsev.ru/2016/04/rpo> and [rto/](https://olontsev.ru/2016/04/rto) (accessed 21.03.2021).

12. https://ru.wikipedia.org/wiki/Agreement_ob_lure_services (accessed 21.03.2021).

13. Storozhuk M. Ispol'zovanie sistem monitoringa setej dlya obespecheniya raboty kriticheski vazhnykh prilozhenij [The use of network monitoring systems to ensure the operation of critical applications]. *The first mile*, 2021, no. 1, pp. 40-44 (in Russian).

Статья поступила 15 апреля 2021 года

Информация об авторе

Аллакин Владимир Васильевич – Соискатель ученой степени кандидата технических наук. Независимый специалист. E-mail: vladimir@duduh.ru. Адрес: 188660, Ленинградская обл., Всеволожский район, пос. Бутры, ул. Школьная, дом 11, корп. 1, кв. 510.

Formation of a server for monitoring the functional security of a public information and telecommunications network based on the evaluation of SRE metrics

V.V. Allakin

Annotation. Task statement: based on the analysis of models and technologies for ensuring the functional security of information and telecommunications networks, to select engineering practices that support reliable and trouble-free operation of network elements through the construction of a network monitoring server. **The purpose of the work:** to form the structure of the server for monitoring the functional state of the information and telecommunications network. **Methods used:** Site/System Reliability Engineering technology that uses the metrics Service Level Indicator, Service Level Objective, Recovery Point Objective, and Recovery Time Objective. **Novelty:** despite the fact that for many software and hardware monitoring tools already exist, for example, for monitoring the Windows and Linux operating systems, but for many domestic hardware and software tools, such agents do not exist. **The result of the research is that the structure of the server for monitoring the functional state of the information and telecommunications network is proposed, including a raw data collector, a time series database, and an HTTP server. A variant of constructing the interface for displaying the basic metrics of the monitoring server is presented. The available models and technologies for building a monitoring server are considered.**

Keywords: information and telecommunications network, situation center, functional security, time series database, metrics of the monitoring system.

Information about Authors

Vladimir Vasilyevich Allakin – Doctoral Student. Independent Expert. E-mail: vladimir@duduh.ru. Address: 188660, Russia, Leningrad region, Vsevolozhsky district, vil. Buhry, Shkolnaya str., 11, build. 1, sq. 510.

Для цитирования: Аллакин В.В. Формирование сервера мониторинга функциональной безопасности информационно-телекоммуникационной сети общего пользования на основе оценки SRE-метрик // Техника средств связи. 2021. № 1 (153). С. 77-85.

For citation: Allakin V.V. Formation of a server for monitoring the functional security of a public information and telecommunications network based on the evaluation of SRE metrics. *Means of Communication Equipment*. 2021. No. 1 (153). Pp. 77-85 (in Russian).

УДК 621.391

Сокращение объема измерительной информации на основе интеллектуального подхода к построению подсистемы мониторинга информационно-телекоммуникационной системы

Будко Н.П.

Аннотация: *Постановка задачи:* на основе интеллектуального подхода к построению подсистемы мониторинга информационно-телекоммуникационной сети общего пользования обосновать многоуровневую процедуру определения ее функционального состояния на основе модели, реализующей поэтапный принцип идентификации класса технического состояния сетевых элементов. **Цель работы:** разработка метода распределенного мониторинга информационно-телекоммуникационной сети на основе агентно-ориентированного подхода, реализующего поэтапный принцип выявления аномальных ситуаций. **Используемые методы:** методы анализа, методы общей теории систем, методы сетеметрии, методы теории надежности, методы теории вероятностей и математической статистики, методы теории классификации, методы теории графов. **Новизна** исследования состоит в том, что предложен метод построения подсистемы мониторинга, отличающийся от известных использованием на этапе выявления аномальной ситуации интеллектуальных агентов различных уровней и поэтапным принципом принятия решения. Обоснованы и описаны аналитически четыре класса состояния информационно-телекоммуникационной системы с учётом ошибок контроля первого и второго рода. **Результат** проведенного исследования состоит в том, что достигнута точность идентификации состояний сети не хуже байесовской и получено реальное сокращение объема циркулирующей по сети измерительной информации.

Ключевые слова: информационно-телекоммуникационная сеть; класс функционального состояния сетевого элемента; подсистема мониторинга; ошибки первого и второго рода.

Введение

Проблема обеспечения надежности и функциональной безопасности элементов сетевых инфраструктур на современном этапе развития информационно-телекоммуникационных сетей (ИТКС) и систем относится к числу приоритетных. Одной из мало исследованных и еще нерешенных задач является построение подсистемы мониторинга процессов функционирования территориально-распределенных систем различной сложности. При этом, современные ИТКС как общего пользования (ОП), так и специального назначения (СН) [1] можно всецело отнести к гетерогенным сетям, что также накладывает определенные трудности и особенности построения их подсистем мониторинга (под *гетерогенными* называют, как правило, сетевые структуры, образующиеся посредством объединения различных ведомственных сетей, имеющих разные принципы построения, сетевые технологии доставки и/или защиты информации, и /или программно-аппаратные средства [2]). Действительно гетерогенность (неоднородность) сети предполагает несовместимость узлов, принадлежащих одной сети, либо к смежным сегментам сети по одному или нескольким логическим признакам: по типу применяемых операционных систем, форматам кадров сети, моделям безопасности, способам защиты информации и пр. Из чего следует, что на гетерогенных ИТКС подсистема мониторинга должна строиться на основе принципов децентрализации и многоуровневости. При том, что ИТКС СН, как правило, имеет строго иерархическую структуру, ее подсистема мониторинга должна позволять осуществлению перераспределения функций центра управления функционированием и периферией в зависимости от текущего состояния системы.

В последние годы объективные процессы государственного управления и динамика принятия решений являются таковыми, что ведомственная обособленность ИТКС становится тормозом развития страны и ее вооруженных сил, поэтому нуждается в коренном изменении.

Одной из специфики гетерогенных сетевых инфраструктур отмечается то, что на сегодня они носят, как правило, межведомственный характер. При этом создание таких межведомственных ИТКС сопряжено с рядом особенностей, отличающих их от традиционных. *Первая* особенность заключается в географической рассредоточенности сетевых ресурсов, а также источников и получателей информации [3]. *Вторая* – определяется пульсирующим

характером сетевого трафика [3]. *Третья* – скрыта в разнородности элементов и применяемых сетевых технологий [3]. *Четвертая* – состоит в невозможности полного математического описания (построения полноценной математической модели) как мультисервисной ИТКС в целом, так и отдельных телекоммуникационных сетей в ее составе, при несомненной необходимости в этом [4]. *Пятая* особенность заключается в случайности функционирования ИТКС, которая влечет за собой трудности при проведении анализа ее состояния (мониторинга) и организации управления [4]. *Шестая* особенность содержится в необъяснимой «нетерпимости» к управлению [5], под которой понимается то, что гетерогенная сеть связи предназначена для сопряжения и передачи информации, а не для управления ею, т. е. функционирует независимо от системы управления. *Седьмая* особенность вытекает из сложности современных гетерогенных ИТКС и состоит в существенной нестационарности (или дрейфе основных характеристик), что вызывает разную реакцию сети на одну и ту же ситуацию или управление в различные моменты времени [4].

Сложность и актуальность создания подсистем мониторинга для таких гетерогенных ИТКС сопряжено с рядом особенностей и ограничений, среди которых также можно выделить следующие: наличие разнородных протоколов взаимодействия между узлами и периферийными сетевыми устройствами, сопряжение сегментов маломощных и высокопроизводительных элементами сети, постоянные трансформации сетевых топологии и структур сети, широкое применение маломощных носимых (мобильных) станций и устройств (низкое энергопотребление, слабые вычислительные мощности, малые объемы памяти). Все эти перечисленные особенности позволяют вести речь о несовершенстве существующих систем контроля, ориентированных на использование в гомогенных сетевых структурах и необходимости поиска новых технологий и подходов к построению подсистем распределенного мониторинга функционального состояния элементов современных гетерогенных ИТКС, в том числе и на основе методов интеллектуального мониторинга их технического состояния (ТС).

Цель статьи: разработка метода распределенного мониторинга ИТКС на основе агентно-ориентированного подхода, реализующего поэтапный принцип выявления аномальных ситуаций.

Информационно-телекоммуникационная сеть как объект мониторинга

Информационно-телекоммуникационные сети справедливо относят к системам непрерывного режима функционирования с высокой степенью доступности, при которой должна быть обеспечена безотказность работы узлов системы и их сервисов 24 часа в сутки, 7 дней в неделю, 365 дней в году. Таким образом каждая минута простоя для телеком-оператора и их клиентов влечет существенные финансовые и репутационные издержки. Это выводит на первый план для отрасли телекоммуникаций задачу обеспечения надежности функционирования сетевых элементов и устройств на каждом из иерархических уровней ИТКС. В связи с чем в последние годы немало внимания уделяют вопросу построения автоматизированных систем мониторинга с наблюдением в режиме реального времени за функциональным состоянием сетевых элементов с целью оперативного выявления критических аномальных ситуаций и сокращения времени их устранения. Так, из доклада *ACFE* [6] следует, что организации, применяющие в повседневной деятельности инструменты мониторинга и прогноза в информационно-телекоммуникационных (ИТ) системах снижают свои потери на 60 % по сравнению с организациями, их игнорирующими.

При этом мониторинг функционального состояния сетевых элементов предполагает:

сбор данных с различного рода датчиков о состоянии контролируемых объектов, а также анализ неструктурированной информации с целью извлечения знаний (фактов);

автоматическая (ручная – оператором) постановка объектов мониторинга на контроль;

отображение объектов мониторинга по шкале технического (функционального) состояния по критериям (интегральным показателям) соотношения текущего (или прогнозируемого значения) индикатора (метрика) с пороговым значением, обеспечивающим классификацию состояния («нормальное», «аварийное», «предаварийное» или тому подобные).

В ходе разработки подсистем сетевого мониторинга на ИТКС исследуемые характеристики отклонения эксплуатационных параметров (метрик) от пороговой нормы возможно получить как в результате процедур *пассивного* мониторинга, применяя систему встроенного контроля сетевого элемента с трансляцией результатов на диспетчерский уровень ИТКС (сервер мониторинга), так и дистанционно путём *активного* опроса периферии с помощью агентного подхода, когда в качестве интеллектуальных агентов (ИА) применяют управляющие пакеты сервера мониторинга, реализующие управление техническим состоянием сетевых узлов и устройств, приводя их в нормальный режим функционирования или переключая на резерв. При этом встроенная система контроля (мониторинга) функционирует на локальном уровне ИТКС, и в интересах периферийного сетевого элемента определяет «аномальное» («аварийное» или «предаврийное») техническое состояние относительно «нормального» на основе статистических данных его характеристик (параметров). А сервер мониторинга, просматривая систему широким оперативным полем способен решать проблемы функциональной безопасности всей ИТКС, не допуская ее блокировки или снижения уровня надежности и деградации.

Представим гетерогенную ИТКС в виде иерархической территориально-распределенной системы, позволяющей осуществлять перераспределение функций мониторинга (сервера мониторинга) в зависимости от текущего на данный момент времени состояния системы, рис. 1.

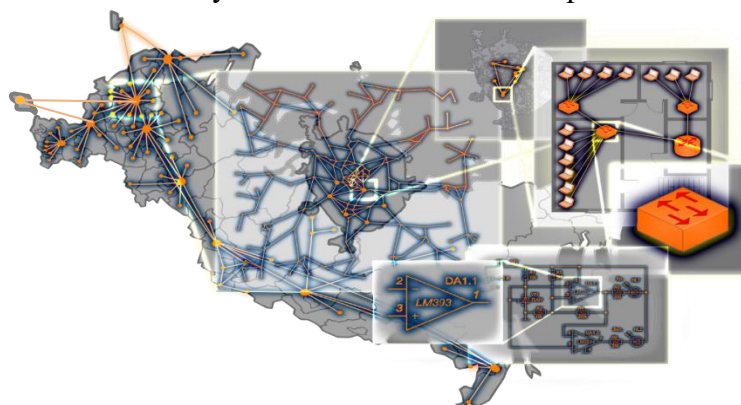


Рис. 1. Уровни разукрупнения информационно-телекоммуникационной сети

Такое видение ИТКС позволяет уйти от строгой централизации управления ею к децентрализованному управлению, а следовательно и мониторингу. При этом, управление такой глобальной системой не может быть строго централизованным в силу изменений текущего состояния сети, возникающих задержек, а также огромного потока управляющей информации. Так, из опыта ввода в эксплуатацию сети ARPA в 1968-1969 гг. в США сеть приходила в состояние блокировки лишь за счет большого объема управляющей информации. И хотя для современных ИТКС ОП, построенных на базе широкополосных и высоконадежных волоконно-оптических и космических каналов связи, это не является проблемой, однако для гетерогенных ИТКС (особенно для ИТКС СН), функционирующих на основе низкоскоростных сетей с высоким коэффициентом ошибок (радиосети и сети беспроводного радиодоступа) сокращение объема управляющей и измерительной информации (ИИ) в подсистемах мониторинга и управления функционированием, является актуальной задачей. Это связано с тем, что в алгоритмах работы таких ИТКС производительность систем зависит от принимаемых решений, которые принимаются с учетом текущего состояния сети, её деградации и дестабилизирующих воздействий внешней среды.

Представление процесса мониторинга информационно-телекоммуникационной сети на основе поэтапного принципа с использованием мультиагентного подхода

Такое представление ИТКС позволяет реализовать поэтапный процесс мониторинга, когда на первом этапе по локальной ИИ о состоянии периферии определяется наличие

нарушения режима работы, а на втором и последующих этапах уточняется степень и тип нарушения. При этом каждый из этапов связан с соответствующим уровнем иерархии ИТКС. При обнаружении аномалии в изменениях значений контролируемых параметров сетевых элементов и каналов связи осуществляется рассылка интеллектуальных агентов, имеющих нумерацию по уровням ИТКС (рис. 2). Аномалией на сетевой структуре при этом понимается такое состояние сетевого элемента, когда наблюдается отклонение подконтрольного параметра за пределы допуска (порога).

В таких условиях мониторинг не может быть строго централизованным при сколь угодно широкой полосности системы вследствие возникающих задержек в ходе сбора ИИ и передаче управляющих воздействий, из-за конечности скорости распространения в протяженных каналах.

Важность реализации распределенной обработки информации в ИТКС ставит вопрос разработки новых методов управления информационными ресурсами, на основе мониторинга состояния сетевых элементов, которые позволяют повысить оперативность обмена данными, а также существенно сократить объемы циркулирующей по сети ИИ и управляющей информации, не снижая качество функционирования системы в целом. Организация управления ресурсами ИТКС сегодня включает следующие мероприятия: сбор ИИ о состоянии сетевых элементов, анализ качественных характеристик работы коммуникационного оборудования, применение решения о состоянии сети и выработке управляющих воздействий. Реализация же задач системы мониторинга сетевых элементов достигается путем выполнения следующего функционала: сбор оперативных и статистических данных о качестве работы ИТКС; сбор данных о нагрузках сетевого оборудования и каналов связи; динамический контроль сетевых вычислительных и телекоммуникационных процессов, вероятностно-временные характеристики доставки информации, а также выработка решений по поддержанию их в заданных пределах; распределение по сегментам сети ИИ об изменениях структуры и о ее функциональном состоянии.

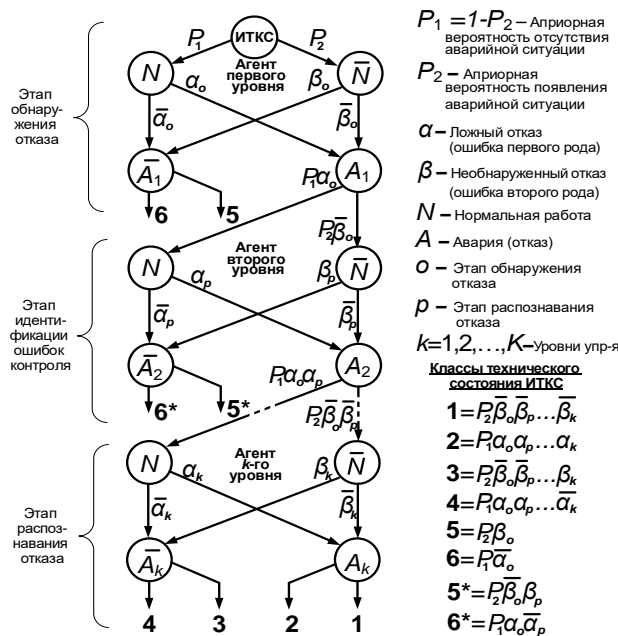


Рис. 2. Вероятностный граф выявления аномальной ситуации на ИТКС

При этом на первом этапе мониторинга по локальной информации, содержащейся в сетевом элементе (узле коммутации), определяется наличие нарушения режима работы, а на втором и последующих этапах уточняется степень и тип нарушения. Фактически реализуется интеллектуальная система мониторинга, получившая название в телевидении системы с переменной апертурой, когда при нормальном функционировании ИТКС распределенная

структура просматривается широким оперативным полем всех подсистем встроенного контроля с малой разрешающей способностью, достаточной лишь для обнаружения на локальном уровне нарушения функционирования сетевого элемента (выход из строя узла коммутации, линии связи, переполнение буфера памяти, блокировка сети и пр.) и отправки интеллектуального агента на вышестоящий уровень (в сервер мониторинга) о нарушении, а в последующем происходит сужение оперативного поля в окрестности нарушения, путем отправки сервером мониторинга интеллектуального агента с запросом на проведение процедуры выявления характера нарушения с помощью более тонкого анализа (распознавания).

Классификация функционального состояния ИТКС на основе критерия Байеса

Перечисленные функции подсистемы мониторинга, получившие название сетеметрии, позволяют сформулировать задачу управления сетевыми ресурсами с позиции математической статистики, входящей в круг задач идентификации состояния сети и представляющей собой задачу различения гипотез. Из анализа функций управления текущее состояние ИТКС описывают вектором $S = S(x_1, x_2, \dots, x_n)$ в n -мерном пространстве признаков, формируемом из пространства исходного описания. При этом теория статистических решений позволяет найти метод, основанный на результатах анализа, дающих с минимальной вероятностью ошибки ответ на вопрос, к какому из двух множеств N или \bar{N} относится это состояние ИТКС и соответствующий ему вектор S , где $N \in \bar{A}$ – нормальное или $\bar{N} \in A$ – аномальное состояние.

В процессе определения класса технического состояния имеют место ошибки: первого рода α , когда гипотеза $U_1(S = \bar{N})$ отклоняется, хотя она справедлива; и второго рода β , когда принимается гипотеза $U_2(S = N)$, но оказывается справедливой гипотеза $U_1(S = \bar{N})$.

В качестве основного решающего правила системы мониторинга выбран критерий Байеса, обеспечивающий наивысшую точность решения двувальтернативных задач идентификации. При этом важно минимизировать средний риск W , или среднюю стоимость принятия решения о наличии ошибок первого и второго рода: $w = \delta_a \cdot \alpha + \delta_b \beta$, где δ_a – вес ошибки первого рода, а δ_b – вес ошибки второго рода. Запишем данное решающее правило:

$$S \in N, \text{ если } \frac{P(x_1, \dots, x_n / N)}{P(x_1, \dots, x_n / \bar{N})} > \frac{\delta_a P(\bar{N})}{\delta_b P(N)} = \theta; \quad S \in \bar{N}, \text{ если } \frac{P(x_1, \dots, x_n / N)}{P(x_1, \dots, x_n / \bar{N})} < \frac{\delta_a P(\bar{N})}{\delta_b P(N)} = \theta,$$

где $P(x_1, \dots, x_n / N)$ и $P(x_1, \dots, x_n / \bar{N})$ – условные плотности вероятности нормального и аварийного состояния ИТКС соответственно, $P(\bar{N}) = 1 - P(N)$ – априорная вероятность возникновения аварии. Это правило минимизирует средний риск и сравнивает отношение вероятностей с порогом θ , который является постоянной величиной для значений весов δ_a и δ_b . Его называют критерием Байеса, а отношение $L(x_1, \dots, x_n) = \frac{P(x_1, \dots, x_n / N)}{P(x_1, \dots, x_n / \bar{N})}$ – отношением правдоподобия.

Условные плотности вероятности $P(x/N)$ и $P(x/\bar{N})$ формируются в процессе обучения системы мониторинга, при этом следует допустить, что они оказываются близкими к истинным, поскольку критерий Байеса обеспечивает наивысшую точность решения двувальтернативных задач распознавания (идентификации).

Поскольку на k -м этапе подсистема мониторинга может совершать ошибки первого $\alpha(x_{ok})$ и второго рода $\beta(x_{ok})$, то необходимо решение задачи выбора порогов x_{ok} на K этапах. Тогда с учетом принятых обозначений запишем выражения для определения вероятности ложной тревоги (ЛТ) $\alpha(x_{ok}) = \int_{x_{ok}}^{\infty} f(x_k / N) dx_k$ и пропуска отказа (пр), $\beta(x_{ok}) = \int_{-\infty}^{x_{ok}} f(x_k / \bar{N}) dx_k$.

Исходя из приведенного на рис. 2 вероятностного графа выявления аномалий получим суммарные ошибки пропуска отказа $P_{пр} = P_2 \left[1 - \prod_{k=1}^K \beta(x_{ok}) \right]$ и ложной тревоги $P_{лт} = P_1 \cdot \prod_{k=1}^K \alpha(x_{ok})$ для всей системы, где $P_1 = 1 - P_2$ – априорная вероятность появления аварии, P_2 – априорная вероятность ее отсутствия. В соответствии с критерием Неймана-Пирсона зафиксируем

вероятность $P_{лт}$ на заданном уровне и минимизируем $P_{пр}^{min}$. Минимизация $P_{пр}$, в которой переменные x_{0k} связаны функциональной зависимостью $P_{лт}$, является задачей условной оптимизации с функционалом: $\Phi = P_2 \left[1 - \prod_{k=1}^K \beta(x_{0k}) \right] + \lambda P \prod_{k=1}^K \alpha(x_{0k})$, где λ – неопределенный множитель Лагранжа. Найдя частные производные $\partial \Phi / \partial x_{0k}$, получим систему K уравнений, что совместно с уравнениями для $P_{пр}$ и $P_{лт}$ позволит найти множитель λ и K переменных x_{0k} . Продифференцировав результат в полученных уравнениях искомыми будут оптимальные пороги классификации на каждом этапе $(x_{01}^*, x_{02}^*, \dots, x_{0k}^*, \dots, x_{0K}^*)$, минимизирующие вероятность пропуска отказа $P_{пр}^{min}$, связанную с наименьшей вероятностью ошибки возникновения аварии. Это решение позволяет однозначно определить вероятность применения правильного решения об отсутствии отказа в работе подсистем ИТКС: $\bar{P}_{пр} = 1 - P_{пр}^{min}$. На последующих этапах анализу подвергается информация о принятии верного решения $\bar{\beta}_k = 1 - \beta_k$, т. е. о нормальном функционировании ИТКС. Поскольку решение о нормальном функционировании системы на первом этапе может быть принято на основе локальной информации о состоянии сетевого узла, например, загрузка процессора, объем буферной памяти и др.), то нет необходимости обмена информацией с другими узлами сети. На втором и последнем этапах наряду с $\bar{P}_{пр} = 1 - P_{пр}^{min}$ анализу подвергается та часть информации, которая обуславливает появление вероятностей ложной тревоги: $P_1\alpha_1, P_1\alpha_1\alpha_2, \dots, P_1\alpha_1\alpha_2, \dots, \alpha_k$ и которая должна подвергаться дальнейшему анализу.

Поэтапный принцип мониторинга при выявлении аномалии на ИТКС обеспечивает точность не хуже байесовой, т. к. использует на каждом из этапов независимые признаки распознавания аномальных ситуаций в каждом из сетевых элементов и сегментов сети. При этом степень сокращения объема ИИ зависит от величины ошибок первого рода (ложного отказа), возникающих на каждом из этапов функционирования подсистемы мониторинга. На последнем k -м этапе работы интеллектуального агента подсистемы мониторинга выделены финальные вероятности состояния ИТКС, по которым определяют класс её технического состояния: «1» – ИТКС заблокирована, отказ обнаружен и распознан; «2» – ИТКС работоспособна, ложное обнаружение и распознавание (ложная тревога); «3» – ИТКС заблокирована, отказ обнаружен, но не распознан (пропуск отказа); «4» – ИТКС работоспособна, ложное обнаружение и правильное распознавание; «5» – ИТКС заблокирована, отказ не обнаружен; «6» – ИТКС работоспособна, признана таковой.

Этапы реализации процедуры мониторинга функционального состояния ИТКС

Представленный на рис. 2 вероятностный граф выявления аномальной ситуации на ИТКС лег в основу метода распределенного мониторинга многоуровневой системы, способного работать в трех режимах: обнаружения отказа; оценки ошибок контроля и режиме обучения [7].

В режиме обнаружения отказа на ИТКС (первый этап мониторинга) производят измерение обобщенного показателя системы \bar{x} , и измеренное значение преобразуется в соответствии с выражением $\Lambda(x) = \ln \frac{f(x/N)}{f(x/\bar{N})}$, где $\Lambda(x)$ – отношение правдоподобия. Далее

происходит сравнение величины $\Lambda(x)$ с пороговым значением x_0 . Если $\Lambda(x) > x_0$, т. е. нарушение режима функционирования ИТКС не обнаружено, то фиксируется нормальное (N) работоспособное состояние системы. В противном случае (если $\Lambda(x) < x_0$), фиксируется аномальное (\bar{N}) состояние системы и производится более достоверная оценка ее состояния путем исследования набора признаков y_i, \dots, γ_i , поступающих с подсистем встроенного контроля сетевых элементов контуров управления различных уровней иерархии системы, где $i = \overline{1, M}$. Значения измеренных признаков k -го контура управления, где $k = 1, 2, \dots, K$ переводят в

признаки «параметры», по которым формируют величины от $\Lambda(y_i) = \ln \frac{f(y_i/N)}{f(y_i/\bar{N})}$ и т.д., до $\Lambda(\gamma_i) = \ln \frac{f(\gamma_i/N)}{f(\gamma_i/\bar{N})}$, в дальнейшем суммируемые по уровням управления для сравнения полученных сумм с порогами $y_0 \dots \gamma_0$. В случае, когда $\sum_{i=1}^n \Lambda(y_i) > y_0$, формируется сигнал о работоспособности системы, а если $\sum_{i=1}^n \Lambda(y_i) < y_0$, то формируется сигнал, фиксирующий экстремальную ситуацию, который поступает в сервер мониторинга для регистрации и в интересах СППР. Аналогично происходит выявление нарушения работоспособности системы и на последующих контурах мониторинга ИТКС. Порядок реализации метода приведен в [7].

В режиме идентификации ошибок контроля ИТКС (второй этап мониторинга) используется генератор искусственного трафика, который моделирует нормальное N и аномальное \bar{N} состояние многоуровневой телекоммуникационной системы в соответствии с априорными вероятностями $P_1 = P(N)$ и $P_2 = 1 - P_1 = P(\bar{N})$. В зависимости от величины порогового значения x_0 , и реализацией случайной величины $\Lambda(x)$, принимают решения о состоянии системы. При этом фиксируются состояния «ложной тревоги» и суммарного, обусловленного обнаружителем (о) и распознавателем (р) «пропуска отказа» при достаточно большом числе испытаний: $P_{лт} = P_1 \alpha_o \alpha_p$; $P_{пр} = P_2 (1 - \beta_o \beta_p)$. Аналогично происходит фиксация «пропуска отказа» и «ложной тревоги» и на последующих по иерархии уровнях мониторинга ИТКС.

В режиме обучения подсистемы мониторинга в связи с многоэтапным принципом работы предусматривается распознавание функционального состояния по сигналу с обнаружителя, когда происходит уменьшение $P_{лт}$ за счет увеличения $P_{пр}$. При оптимизации суммарной величины $P_{\Sigma} = \lambda P_{лт} + P_{пр}$, где $0 \leq \lambda \leq 1$ – неопределенный множитель Лагранжа, уменьшение второго слагаемого может быть достигнуто за счет оптимального выбора порогов $x_0^*, y_0^*, \dots, \gamma_0^*$. При этом уменьшение значений $x_0, y_0, \dots, \gamma_0$ производится за m испытаний путем уточнения $(m-1)$ испытания $x_{0(m-1)}, y_{0(m-1)}, \dots, \gamma_{0(m-1)}$ за счет $\Delta x_0^{(m)}, \Delta y_0^{(m)}, \dots, \Delta \gamma_0^{(m)}$ известными методами, например, методом стохастической аппроксимации.

Реализации алгоритмов (этапов) метода распределенного мониторинга ИТКС показан в [8].

Оптимизация порогов классификации вида функционального состояния ИТКС

В том случае, когда обнаружитель и распознаватель состояния ИТКС соответственно на первом и втором этапах – допускают ошибки первого (α_o, α_p) и второго (β_o, β_p) рода, становится актуальным вопрос выбора порогов при классификации состояния системы на наличие (A) и отсутствие (\bar{A}) аномалий. Рассчитаем оптимальные значения порогов классификации, обеспечивающих минимальную ошибку идентификации состояния для двухуровневой ИТКС.

Поскольку $\bar{\alpha}_o = 1 - \alpha_o$; $\bar{\alpha}_p = 1 - \alpha_p$; $\bar{\beta}_o = 1 - \beta_o$; $\bar{\beta}_p = 1 - \beta_p$ из графа, поясняющего работу подсистемы мониторинга ИТКС (рис. 2), как показано выше, получим выражения для вероятности $P_{лт}$ и $P_{пр}$ при двухэтапной процедуре контроля состояния системы. В соответствии с критерием Неймана-Пирсона потребуем минимума $P_{пр}$ при условии $P_{лт} = \text{const} = c$:

$$\min P_2 (1 - \bar{\beta}_o \bar{\beta}_p). \quad (1)$$

С учетом приведенных на рис. 3 кривых плотностей распределения признака x при нормальном состоянии ИТКС $f(x/N) = f_1(x)$ и $f(x/\bar{N}) = f_2(x)$ – при её аномальном состоянии, имеем:

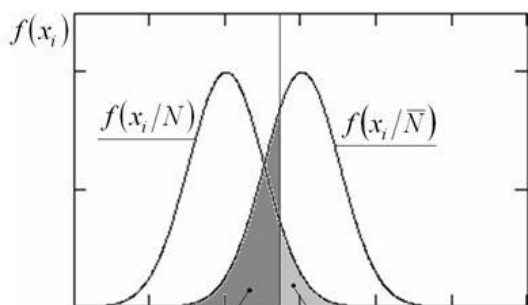


Рис. 3. Законы распределения признаков

$$\begin{cases} \alpha_o = \int_{x_0}^{\infty} f_1(x) dx; \\ \beta_o = \int_{-\infty}^{y_0} f_2(x) dx. \end{cases} \quad (2)$$

Вид плотностей вероятностей распределения признаков x и y для двухэтапной процедуры контроля показан на рис. 4 а) и б), из чего следует:

$$\begin{cases} \alpha_p = \int_{y_0}^{\infty} f_1(y) dy; \\ \beta_p = \int_{-\infty}^{y_p} f_2(y) dy. \end{cases} \quad (3)$$

Тогда условия (1) с учетом (2) и (3) представим в следующем виде:

$$P \int_{x_0}^{\infty} f_1(x) dx \int_{y_0}^{\infty} f_1(y) dy = c; \quad (4)$$

$$P_{\text{пр}}^{\min} = \min \left\{ P_2 \left[1 - \int_{x_0}^{\infty} f_2(x) dx \int_{y_0}^{\infty} f_2(y) dy \right] \right\}. \quad (5)$$

В том случае, когда на втором этапе распознавание осуществляется по нескольким произвольно распределенным признакам $\bar{y} = [y_1, y_2, \dots, y_n]$, для нахождения результирующей ошибки распознавания можно воспользоваться известными методами. Так как в данном случае пороги классификации на первом и втором этапах связаны функциональной зависимостью $[x = \varphi(y_o)]$, то в результате дифференцирования по нижнему пределу, получим условие: которое позволяет найти оптимальное значение порогов классификации, обеспечивающих минимальную ошибку идентификации состояния телекоммуникационной системы.

Предлагаемый метод распределенного мониторинга ИТКС на основе поэтапной процедуры принятия решения по сравнению с известными техническими решениями позволяет обосновать выбор пороговых значений x_0, y_0 , решая данную задачу оптимальным образом в смысле минимума ошибок классификации аномальных состояний системы. В ИТКС предпочтительнее иметь ошибку первого рода α_o (ложную тревогу), чем ошибку второго рода β_o , (пропуск отказа). В связи с чем, предпочтительными на рис. 2 будут состояния системы «б» и «1».

Ошибки контроля предлагаемого метода могут быть снижены за счет обучения системы управления путем анализа текущей информации, накапливаемой в процессе функционирования системы, методами статистической теории распознавания образов.

Когда вид функций $f_1(x), f_2(x), f_1(y), f_2(y)$ позволяет проводить оптимизацию аналитическими методами, задача значительно упрощается, например, при релеевских законах.

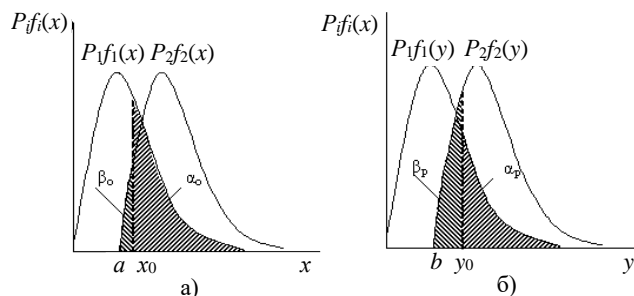


Рис. 4. Законы распределения признаков x и y для двухэтапной процедуры контроля

$$\frac{d x_0}{d y_0} f_2(x_0) \int_{y_0}^{\infty} f_2(y) dy + f_2(y_0) \int_{x_0}^{\infty} f_2(x) dx = 0, \quad (6)$$

Пусть $f_1(x) = x e^{-\frac{x^2}{2}}$; $f_2(x) = (x-a) e^{-\frac{(x-a)^2}{2}}$; $f_1(y) = y e^{-\frac{y^2}{2}}$; $f_2(y) = (y-b) e^{-\frac{(y-b)^2}{2}}$.
 В этом случае уравнения (4), (6) приводятся к виду:

$$x_0^2 + y_0^2 = 2 \ln \frac{P_1}{c}; \tag{7}$$

$$\frac{dx_0}{dy_0} (x_0 - a) + (y_0 - b) = 0. \tag{8}$$

Продифференцировав (7) по y_0 и подставив результат в (8) получим их совместное решение

$$x_0^* = \sqrt{\frac{2 \ln \frac{P_1}{c}}{1 + \left(\frac{b}{a}\right)^2}}, \quad y_0^* = \sqrt{\frac{2 \ln \frac{P_1}{c}}{1 + \left(\frac{a}{b}\right)^2}} \tag{9}$$

Используя (9) из уравнения (5), получим значения минимальной вероятности «пропуска отказа» (необнаруживаемого нарушения режима нормального функционирования) ИТКС

$$P_{\text{ип}}^{\text{min}} = P \left\{ 1 - \frac{c}{P} \exp \left[\sqrt{2(a^2 + b^2)} \ln \frac{P_1}{c} - \frac{1}{2}(a^2 + b^2) \right] \right\}. \tag{10}$$

Сокращение объема измерительной информации за счет поэтапного мониторинга

Сравнение двух и одноэтапной процедур выявления аномальных состояний ИТКС через отношение соответствующих мощностей решения [9] $k_c = \bar{\beta}_2 / \bar{\beta}_1$, при одной и той же вероятности «ложного» решения c , позволяет сделать вывод, что выигрыш в отношении уменьшения вероятности $P_{\text{ип}}^{\text{min}}$ существенно возрастает с уменьшением величины $P_{\text{лт}}$ и степени пересечения классов при обнаружении и распознавании (величин a и b):

$$k_c = \exp \left\{ \sqrt{\ln \frac{P_1}{c}} \left[\sqrt{2(a^2 + b^2)} - a\sqrt{2} \right] - b^2/2 \right\}$$

Кривые зависимости $k_c = f(c)$ (при $a = 1$ и различных значениях b), иллюстрирующие величину выигрыша, представлены на рис. 5.

Поскольку решение о нормальном функционировании ИТКС на первом этапе может быть принято на основе локальной информации о состоянии узла (например, объем буферной памяти, состояние каналов связи и др.), то нет необходимости обмена информацией с другими узлами сети.

На втором и последующих этапах анализу подвергается та часть информации, которая обуславливает появление вероятностей ложной тревоги $P_1\alpha_1, P_1\alpha_1\alpha_2, \dots, P_1\alpha_1\alpha_2\dots\alpha_n$.

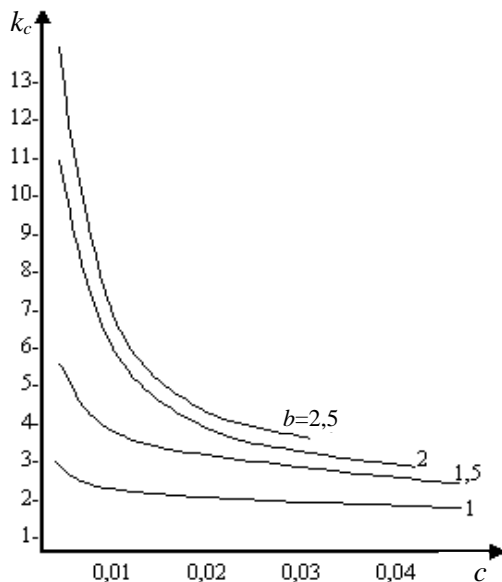


Рис. 5. Сравнительная оценка многоэтапных процедур контроля

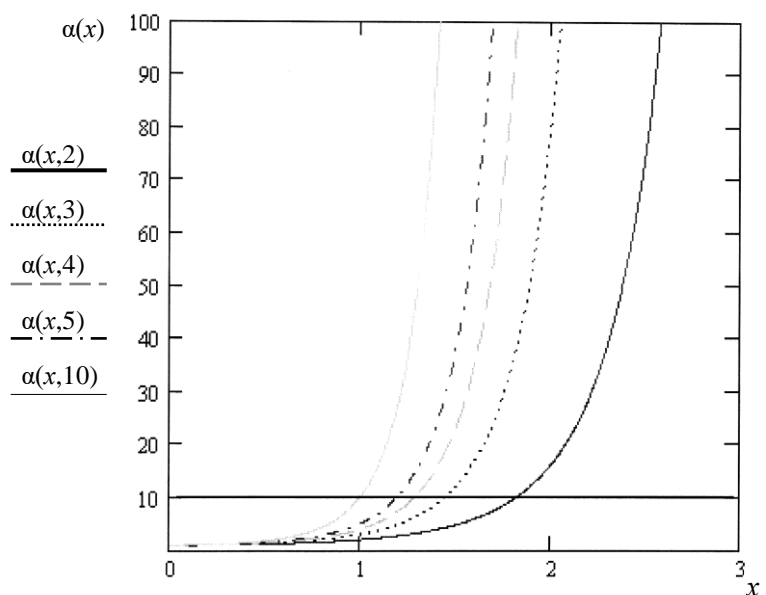


Рис. 6. Сокращение объема ИИ в системе мониторинга ИТКС за счет увеличения числа (2, 3, 4, 5, 10) его этапов

Значение $P_{\text{лт}} = P_1\alpha_1(1 + \alpha_2 + \alpha_2\alpha_3 + \dots + \alpha_2\alpha_3\dots\alpha_k)$ определяет ту часть потока измерительной информации, принятой за 1, которая подлежит анализу на втором и последующих этапах. Фактически она определяет степень сокращения η_c объема информации, которая должна передаваться между узлами сети для уточнения типа нарушения: $\eta_c = 1/P_1\alpha_1(1 + \alpha_2 + \alpha_2\alpha_3 + \dots + \alpha_2\alpha_3\dots\alpha_k)$.

Заключение

Таким образом, степень сокращения объема циркулирующей в системе мониторинга ИИ зависит от величины ошибок первого рода, возникающих на каждом из этапов, и составляет величину от 1,1 до 3 раз (рис. 6). При этом поэтапная процедура мониторинга ИТКС обеспечивает наивысшую точность выявления аномальных ситуаций в системе, поскольку использует на каждом этапе независимые признаки распознавания и, следовательно, оказывается не хуже байесовой. При поэтапном мониторинге применение решения о состоянии ИТКС осуществляется с привлечением дополнительных признаков по мере необходимости. Число включений этапов уменьшается по мере роста номера этапа в x_i раз. Контроль заканчивается в том случае, если принято решение о нормальном функционировании системы. Последние этапы используются достаточно редко, при этом суммарное количество ИИ в пределе достигает максимальной величины, практически используя всю доступную измерению информацию, поставляемую системой сетеметрии, для принятия решения о состоянии многоуровневой ИТКС.

Анализ результатов моделирования (рис. 6) показывает, что выигрыш в сокращении объема ИИ по сравнению с известными подходами [10] зависит от информативности признаков распознавания на втором и последующих этапах, поскольку она на первом этапе оказывается фиксированной, и определяется объемом свободного буферного пространства, величина которого может строго контролироваться по локальной информации от узлов ИТКС.

Однако увеличение информативности признаков на последующих этапах связано с измерениями в системе, объем которых определяет качество принятия решения при поэтапном контроле. Эти измерения для повышения информативности связаны с необходимостью привлечения дополнительных измерительных ресурсов и увеличением времени анализа.

Построение многоуровневой ИТКС на основе многоэтапной процедуры мониторинга по сравнению с другими известными техническими решениями позволяет обосновать выбор пороговых значений x_0 , y_0 , ..., γ_0 , решая данную задачу оптимальным образом в смысле минимума ошибок классификации аномальных состояний системы.

Ошибки контроля предлагаемого метода могут быть снижены за счет обучения подсистемы мониторинга путем анализа текущей информации, накапливаемой в процессе функционирования ИТКС, методами статистической теории распознавания образов.

Таким образом, при реализации предлагаемого метода распределенного мониторинга многоуровневой гетерогенной ИТКС сеть разбивается на некоторые множества связанных между собой подсетей, объединяющих близко расположенные узлы. В каждой подсети существует местный центр мониторинга (сервер мониторинга), получающий информацию о состоянии данной подсети и вырабатывающий для них директивы. Все местные центры мониторинга (серверы мониторинга) соединены между собой широкополосными каналами и обмениваются информацией, используя управляющие пакеты с высоким приоритетом. Это дает возможность серверам мониторинга учитывать не только локальную картину состояния ИТКС, но и глобальную.

Используя подобный принцип, создается адаптивная система управления. При нормальном функционировании распределенная структура просматривается широким оперативным полем с малой разрешающей способностью, достаточной для обнаружения локального нарушения режима. В дальнейшем происходит сужение оперативного поля в окрестности нарушения, которое просматривается более детально, и путем более тонкого анализа производится выявление характера (распознавание).

Литература

1. Федеральный закон от 07.07.2003 № 126-ФЗ (ред. от 09.03.2021) «О связи».
2. Инфокоммуникационные сети: энциклопедия. Кн. 4. Гетерогенные сети связи: принципы построения, методы синтеза, эффективность, цена, качество / П. А. Будко, И. А. Кулешов, В. И. Курносков, В.И. Мирошников; под ред. Проф. В. И. Мирошникова. – М.: Наука, 2020. – 683 с.
3. Будко П.А. Управление ресурсами информационно-телекоммуникационных систем. Методы оптимизации: Монография. – СПб.: ВАС, 2012. – 512 с.
4. Легков К.Е., Бабошин В.А., Нестеренко О.Е. Модели и методы управления современными мультисервисными сетями связи // Техника средств связи. 2018. № 2 (142). С. 181-182.
5. Легков К.Е. Процедуры и временные характеристики оперативного управления трафиком в транспортной сети специального назначения пакетной коммутации // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2012. Т. 6. С. 42-46.
6. Report to the Nations on Occupational Fraud and Abuse. [Электронный ресурс] // Association of Certified Fraud Examiners (ACFE). 2014. URL: <https://www.acfe.com/rtnn/docs/2014-report-to-nations.pdf> (Дата обращения: 06.12.2017).
7. Будко Н.П., Будко П.А., Винограденко А.М. и др. Способ распределенного контроля и адаптивного управления многоуровневой системой и устройство для его осуществления. Патент на изобретение RU 2450335 C1 опублик. 10.05.2012 Бюл. № 13.
8. Будко П.А., Дорошенко Г.П., Ершов Г.А., Мухин А.В., Будко Н.П. Реализация метода распределенного контроля и адаптивного управления многоуровневой системой // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2012. Т.10. № 3. С. 65-73.
9. Фомин Л. А., Чернокутов А. И. Оптимизация ошибок при двухэтапной процедуре контроля // Автоматика и вычислительная техника. 1975. № 3. С. 34-37.
10. Стеклов В.К., Беркман Л.Н. Оценка объема управляющей информации в информационных сетях // Электросвязь. 2000. № 6. С. 34-36.

References

1. The Federal Law of the Russian Federation of July 07, 2003 no. 126-FZ "About communication". (in Russian).
2. Budko P.A., Kuleshov I.A., Kurnosov V.I., Miroshnikov V.I. *Infokommunikatsionnyye seti/ Entsiklopediya. Kniga 4. Geterogennyye seti svyazi. Printsipy postroyeniya. Metody sinteza. Effektivnost. Tsena. Kachestvo. Monografija* [Infocommunication networks: an encyclopedia. Book 4. Heterogeneous communication networks. Principles of construction. Methods of synthesis. Efficiency. Price. Quality. Monography]. Moscow, Nauka Publ., 2020. 683 p. (in Russian).
3. Budko P.A. *Upravleniye resursami informatsionno-telekommunikatsionnykh sistem. Metody optimizatsii* [Resource management of information and telecommunications systems. Optimization methods] St. Petersburg, Military Academy of Communications Publ., 2012. 512 p. (in Russian).
4. Legkov K.E., Baboshin V.A., Nesterenko O.E. Modeli i metody upravleniya sovremennymi multiservisnymi setyami svyazi. Models and methods of management of the modern multiservice networks. *Means of Communication Equipment*. 2018, no. 2 (142), pp. 181-182. (in Russian).
5. Legkov K.E. Protsedury i vremennyye kharakteristiki operativnogo upravleniya trafikom v transportnoy seti spetsialnogo naznacheniya paketnoy kommutatsii. Procedures and temporal characteristics of the operational management of traffic in the transport network of the special purpose packet switching. *T-Comm – Telecommunications and Transport*. 2012, vol. 6, pp. 42-46. (in Russian).
6. Report to the Nations on Occupational Fraud and Abuse. [Electronic resource]. Association of Certified Fraud Examiners (ACFE). 2014. URL: <https://www.acfe.com/rtnn/docs/2014-report-to-nations.pdf> (Accessed: 06.12.2017).
7. Budko N.P., Budko P.A., Vinogradenko A.M., etc. *Sposob raspredelennogo kontrolya i adaptivnogo upravleniya mnogourovnevnoy sistemoy i ustroystvo dlya ego osushchestvleniya* [A method of distributed control and adaptive management of a multi-level system and a device for its implementation]. Patent Russia, no 2450335 C1 publ. 10.05.2012 Byul., no. 13. (in Russian).
8. Budko P.A., Doroshenko G.P., Ershov G.A., Mukhin A.V., Budko N.P. Realizatsiya metoda raspredelennogo kontrolya i adaptivnogo upravleniya mnogourovnevnoy sistemoy. Implementation of the method of distributed control and adaptive control of a multi-level system. *Journal Information-measuring and Control Systemy*. 2012, vol. 10, no. 3, pp. 65-73. (in Russian).

9. Fomin L.A., Chernoskutov A.I. Optimizatsiya oshibok pri dvukhetapnoy protsedure kontrolya. Optimization of errors in a two-stage control procedure. Automatic Control and Computer Sciences. 1975, no. 3, pp. 34-37. (in Russian).

10. Steklov V.K., Berkman L.N. Otsenka obyema upravlyayushchey informatsii v informatsionnykh setyakh. Evaluation of the volume of control information in information networks. Elektrosvyaz. 2000, no. 6, pp. 34-36. (in Russian).

Статья поступила 11 мая 2021 года

Информация об авторе

Будко Никита Павлович – Соискатель ученой степени кандидата технических наук. Независимый специалист. E-mail: budko62@mail.ru. Адрес: 194064, г. Санкт-Петербург, ул. Бутлерова, 9, корп. 1, кв. 252.

Reducing the amount of measurement information based on an intelligent approach to build a monitoring subsystem for an information and telecommunication system

N.P. Budko

Abstract: Problem statement: on the basis of an intelligent approach to the construction of a subsystem for monitoring a public information and telecommunications network, to justify a multi-level procedure for determining its functional state based on a model that implements the step-by-step principle of identifying the class of technical condition of network elements. **Objective:** to develop a method for distributed monitoring of an information and telecommunications network based on an agent-based approach that implements the step-by-step principle of detecting abnormal situations. **Methods used:** methods of analysis, methods of general systems theory, methods of network geometry, methods of reliability theory, methods of probability theory and mathematical statistics, methods of classification theory, methods of graph theory. **The novelty** of the study is that the method of constructing a monitoring subsystem is proposed, which differs from the known ones by using intelligent agents of various levels at the stage of detecting an abnormal situation and a step-by-step decision-making principle. Four classes of the state of the information and telecommunications system are justified and described analytically, taking into account control errors of the first and second kind. **The result** of the study is that the accuracy of identifying network states is no worse than Bayesian and a real reduction in the volume of measurement information circulating through the network is obtained.

Keywords: information and telecommunications network; monitoring subsystem; class of the functional state of the network element; errors of the first and second kind.

Information about Authors

Budko Nikita Pavlovich – Doctoral Student. Independent Expert. E-mail: budko62@mail.ru. Address: 194064, Russia, St. Petersburg, Butlerova str., build. 9/3, sq. 252.

Для цитирования: Будко Н.П. Сокращение объема измерительной информации на основе интеллектуального подхода к построению подсистемы мониторинга информационно-телекоммуникационной системы // Техника средств связи. 2021. № 1 (153). С. 86-97.

For citation: Budko N.P. Reducing the amount of measurement information based on an intelligent approach to build a monitoring subsystem for an information and telecommunication system. Means of Communication Equipment. 2021. No. 1 (153). Pp. 86-97 (in Russian).

ВНИМАНИЕ! КОНКУРС!
В честь 60-летия первого полета человека в космос
объявляется конкурс молодых ученых и специалистов ПАО «Интелтех» в 2021 г.!

Конкурс проводится в целях профессиональной адаптации, выявления и максимального использования творческого потенциала молодых специалистов, стимулирования научной деятельности и привлечения их к решению научно-технических задач, повышающих качество текущих научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, а также в соответствии с Положением по организации и проведению конкурса на лучшую научную работу молодых ученых и специалистов ПАО «Интелтех».

К конкурсу на лучшую научную работу молодых ученых и исследователей представляются выполненные на русском языке закрытые и открытые завершённые научно-исследовательские работы молодых ученых и специалистов ПАО «Интелтех» в возрасте до 35 лет, представляющие собой самостоятельно выполненные исследования по актуальным проблемам телекоммуникационных и информационных технологий. Научные работы могут быть выполнены индивидуально и коллективно (не более 3 соавторов).

К награждению премиями (поощрению) представляются авторы (соавторы), представившие на конкурс научные работы:

- результаты которых могут быть реализованы на предприятиях оборонно-промышленного комплекса Российской Федерации, включая создание продукции гражданского и двойного назначения;
- результаты которых могут использоваться в научных исследованиях в плановых НИР (ОКР);
- по результатам которых получены патенты или имеются научные публикации (в журналах, сборниках трудов научно-технических конференций), статьи на депонировании, патенты РФ или программные продукты.

Победители конкурса определяются по итогам их выступления на научно-технической конференции молодых ученых и специалистов ПАО «Интелтех».

Порядок представления на конкурс и рассмотрения научных работ

Конкурс проводится по следующим номинациям:

- «Телекоммуникационные системы и сети»;
- «Информационная безопасность»;
- «Системы управления».

Конкурс проводится в 3 этапа:

I этап (заочный тур) – сдача работ (пояснительных записок) в конкурсную комиссию до 01.07.2021; II этап (очный тур) – выступление на научно-технической конференции (НТК) и защита результатов, изложенных в научно-технической работе, до 20.10.2021; III этап – подведение итогов, награждение победителей, представление победителей к участию на городских и Всероссийских конкурсах, до 04.11.2021. Представление конкурсных работ к печати в журнале «Техника средств связи».

Работы, поступающие на конкурс, оценивает конкурсная комиссия. Председателем конкурсной комиссии является заместитель генерального директора по научной работе, заместитель председателя конкурсной комиссии – ученый секретарь ПАО «Интелтех», секретарь конкурсной комиссии – председатель совета молодых специалистов ПАО «Интелтех».

К работе конкурсной комиссии по отбору научных работ (I этап конкурса) и оценке их на научно-технической конференции (II этап конкурса) могут привлекаться ведущие специалисты ПАО «Интелтех» в данной области науки, как правило, имеющие ученые степени (звания).

На конкурс представляются следующие материалы:

- научная работа (до 40 страниц машинописного текста);
- сведения об авторе (о соавторах, если научная работа выполнена коллективно) научной работы, представленной на конкурс, по установленной форме;
- список научных трудов (форма №16), заверенных ученым секретарем ПАО «Интелтех», и подписанных конкурсантом и его научным руководителем;
- копии патентов и научных публикаций (с копией первых страниц и оглавлений журналов, сборников, трудов) (при наличии);
- копии свидетельств программ для ЭВМ и баз данных (при наличии);
- иные документы, подтверждающие авторское право (выписки из открытых отчетов по НИР со списком исполнителей);
- награды за участие в конкурсах, выставках.

TACC
Информационное агентство России

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о регистрации в Национальном центре
ISSN
и присвоении Международного стандартного номера
серийного издания
(International Standard Serial Number)

Издание: Основное заглавие: Техника средств связи (Санкт-Петербург. Online)
Параллельное заглавие: Means of communication equipment
Ключевое заглавие: Техника средств связи
Номер Свидетельства о регистрации СМИ в Роскомнадзоре: Эл № ФС 77-80136 от 31.12.2020
Издатель: Публичное акционерное общество «Информационные телекоммуникационные технологии»
Место издания: г. Санкт-Петербург
URL: mce-journal.ru
Язык издания: русский, резюме: английский
Периодичность: 4 раза в год
Вид издания: журнал
Версия издания: сетевое

зарегистрировано в Национальном центре ISSN Российской Федерации.

Изданию присвоен номер ISSN: 2782-2133

Владелец номера предупреждается о том, что номер ISSN нужно использовать в строгим соответствии с нормативными документами, не передавать его другим лицам и организациям.
Об изменениях в сведениях, заявленных при регистрации, в т.ч. о любых изменениях в заглавии, имени издателя, контактной информации и пр. необходимо сообщать в Национальный центр ISSN.

Свидетельство выдал
09.04.2021  / Наговицына А. В. /



Федеральное государственное унитарное предприятие «Информационное телеграфное агентство России (ИТАР-ТАСС)»,
Российская сносная газета
125993, Москва, ГСП-3, Тверской бульвар, д. 10-12, тел.: +7 (499) 791-04-44, web: www.tass.ru

TACC
Информационное агентство России

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о регистрации в Национальном центре
ISSN
и присвоении Международного стандартного номера
серийного издания
(International Standard Serial Number)

Издание: Основное заглавие: Техника средств связи (Санкт-Петербург. Print)
Параллельное заглавие: Means of communication equipment
Ключевое заглавие: Техника средств связи
Номер Свидетельства о регистрации СМИ в Роскомнадзоре: ПИ № ФС 77-80135 от 31.12.2020
Издатель: Публичное акционерное общество «Информационные телекоммуникационные технологии»
Место издания: г. Санкт-Петербург
URL: -
Язык издания: русский, резюме: английский
Периодичность: 4 раза в год
Вид издания: журнал
Версия издания: печатное

зарегистрировано в Национальном центре ISSN Российской Федерации.

Изданию присвоен номер ISSN: 2782-2141

Владелец номера предупреждается о том, что номер ISSN нужно использовать в строгим соответствии с нормативными документами, не передавать его другим лицам и организациям.
Об изменениях в сведениях, заявленных при регистрации, в т.ч. о любых изменениях в заглавии, имени издателя, контактной информации и пр. необходимо сообщать в Национальный центр ISSN.

Свидетельство выдал
09.04.2021  / Наговицына А. В. /



Федеральное государственное унитарное предприятие «Информационное телеграфное агентство России (ИТАР-ТАСС)»,
Российская сносная газета
125993, Москва, ГСП-3, Тверской бульвар, д. 10-12, тел.: +7 (499) 791-04-44, web: www.tass.ru

Федеральная служба по надзору в сфере
связи, информационных технологий и
массовых коммуникаций

Выписка

из реестра зарегистрированных средств массовой информации
по состоянию на 14.01.2021 г.

Регистрационный номер и дата принятия решения о регистрации: серия Эл № ФС77-80136 от 31 декабря 2020 г.

Статус средства массовой информации: Действующее

Наименование (название) средства массовой информации: Means of communication equipment

Язык(и): русский, английский

Перевод наименования (названия) на государственный язык Российской Федерации:
Техника средств связи

Адрес редакции: 197342, г. Санкт-Петербург, ул. Кантемировская, д. 8


Доменное имя сайта в информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» (для сетевого издания): MCE-JOURNAL.RU

Примерная тематика и (или) специализация: Системы связи и телекоммуникации

Форма периодического распространения (вид - для периодического печатного издания): сетевое издание

Территория распространения: Российская федерация, зарубежные страны

Учредитель (соучредители): Публичное акционерное общество «Информационные телекоммуникационные технологии» (ОГРН 1027801525608)



Заместитель начальника
Управления разрешительной
работы, контроля и надзора в сфере
массовых коммуникаций

М.В. Виноградов

Федеральная служба по надзору в сфере
связи, информационных технологий и
массовых коммуникаций

Выписка

из реестра зарегистрированных средств массовой информации
по состоянию на 14.01.2021 г.

Регистрационный номер и дата принятия решения о регистрации: серия ПИ № ФС77-80135 от 31 декабря 2020 г.

Статус средства массовой информации: Действующее

Наименование (название) средства массовой информации: Means of communication equipment

Язык(и): русский, английский

Перевод наименования (названия) на государственный язык Российской Федерации:
Техника средств связи

Адрес редакции: 197342, г. Санкт-Петербург, ул. Кантемировская, д. 8

Примерная тематика и (или) специализация: Системы связи и телекоммуникации

Форма периодического распространения (вид - для периодического печатного издания): Периодическое печатное издание, журнал

Территория распространения: Российская Федерация

Учредитель (соучредители): Публичное акционерное общество «Информационные телекоммуникационные технологии» (ОГРН 1027801525608)



Заместитель начальника
Управления разрешительной
работы, контроля и надзора в сфере
массовых коммуникаций

М.В. Виноградов