

ТЕХНИКА СРЕДСТВ СВЯЗИ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

№1 (145). 2019



Блок 4С1И



Блок каналов E1 K8E



Блок абонентских комплектов АК4



Модуль коммутационный



Модуль шлюзовой



Модуль услуг



Блок Ethernet коммутатора K8ET



Блок десятипроводных стыков 4K10CT



Блок питания АК4-БП



Блок процессорный ЦП



Блок речепреобразующих устройств РПУ

Многопротокольный интегрированный комплекс связи МИКС-02-2

Предназначен для функционирования в сетях открытой и шифрованной связи. В зависимости от комплектации выполняет функции:

- традиционной АТС с возможностью подключения 4-х и 2-х проводных телефонных аппаратов;
- IP-АТС;
- голосового и IP маршрутизатора;
- оборудования для развертывания объектовой сети связи;
- шлюза сопряжения унаследованного парка оборудования (СТИ, десятипроводный стык) с современными сетями связи, включая VoIP;
- высокопроизводительного сервера.

Группа исполнения:

1.3, 1.4.1, 2.1.1, 2.3.1 по ГОСТ РВ 20.39.304-98.

Состоит из:

1. Модуля коммутационный изделия МИКС-02-2:

Обеспечивает протокольное и физическое сопряжение с оборудованием связи по каналам:

- 1,2 (2,4) кбит/с С1-ФЛ-БИ ;
- десятипроводным соединительным линиям в аналоговом режиме и режиме обхода АРПУ;
- по цифровым соединительным линиям E1 в целях образования коммутируемой телефонной сети и сети передачи данных в сегменте сети с коммутацией каналов.

Организация абонентской сети четырехпроводных и двухпроводных телефонных аппаратов и подключения аппаратуры телефониста. В изделие может входить до трех МК.

2. Модуля шлюзовой изделия МИКС-02-2:

Выполняет функции маршрутизатора.

Обеспечивает сопряжение с оборудованием связи в сетях с коммутацией пакетов на основе IP-технологии в целях передачи данных и образования коммутируемой телефонной сети VoIP абонентов с использованием протокола SIP 2.0.

Организация оконечной абонентской телефонной сети на основе VoIP абонентов по протоколу SIP 2.0 и сети АРМ ДЛ в режиме оконечного оборудования данных.

Изделие содержит всегда только один МШ.

3. Модуля услуг изделия МИКС-02-2:

Представляет собой высокопроизводительный сервер для установки на него ОПО и СПО заказчика.

В изделие может включаться до пяти МУ.



ТЕРМИНАЛ МОБИЛЬНОЙ РАДИОСЕТИ

Основные функции:

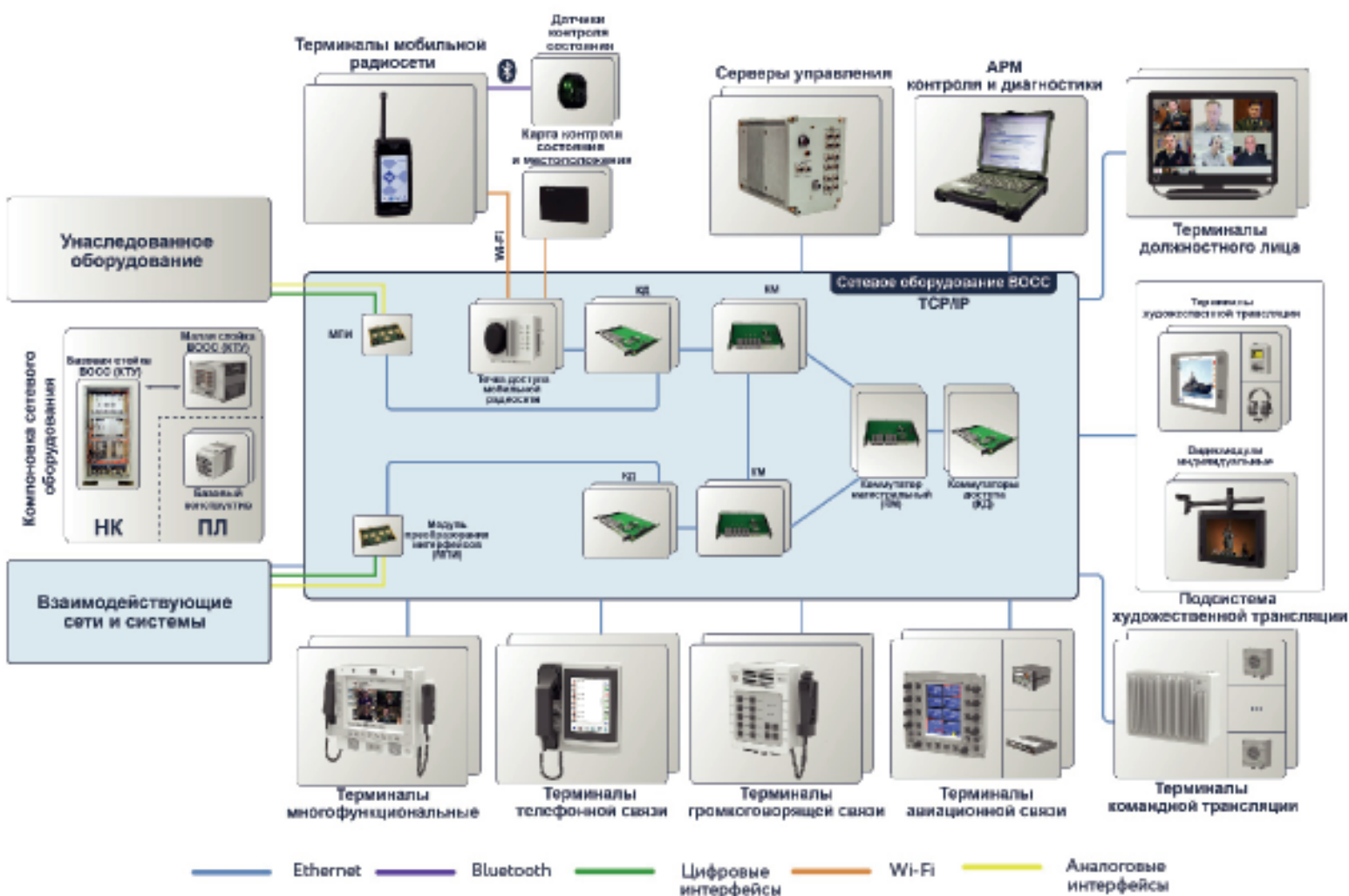
- IP-телефония с ДВО;
- видеотелефония;
- громкоговорящая связь;
- оповещение и командная трансляция;
- передача данных;
- видео и аудиоконференция;
- видеонаблюдение входящее и исходящее;
- взаимодействия с внешними радиосетями;
- трансляция данных датчиков физиологического состояния членов экипажа по стандарту Bluetooth 4.1 Low Energy профиль Heart Rate;
- встроенная УКВ-рация (136 - 174 MHz) обеспечивает передачу речи в режиме РТТ (мощность 1Вт);
- аварийный приводной радиомаяк на частоте 121,5 МГц.

Применение:

В составе внутриобъектовой сети связи подводных лодок, надводных кораблей и береговых объектов.
Соответствует требованиям группы исполнения 2.1.1, 2.3.1; 1.1 и 1.2 по ГОСТ РВ 20.39.304-98 и ОМЗ по ГОСТ15150-69.

Характеристики:

- Сеть Wi-Fi 802.11 b/g/n;
- Степень защиты IP-67;
- Масса 420 гр.;
- Размеры 154x79x27.



СТРУКТУРА И ОСНОВНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ВНУТРИОБЪЕКТОВОЙ СЕТИ СВЯЗИ (ВОСС)

- Применение перспективных пакетных технологий SIP/IP/Ethernet в строгом соответствии с международными рекомендациями.
- Программное обеспечение полностью отечественное, кросс-платформенное. "Открытость" сетевых решений, реализация принципа "все услуги из одной розетки".
- Модульность технических и программных средств, обеспечивающих гибкую масштабируемость и наращивание возможностей в процессе эксплуатации.
- Укомплектовывается 10 типами терминального оборудования, отличающегося услугами и стоимостью.
- Удовлетворяет требованиям по стойкости, прочности и устойчивости к воздействию внешних факторов группы исполнения 2.1.1 и 2.3.1

СОСТАВ РЕДАКЦИОННОГО СОВЕТА **научно-технического журнала «Техника средств связи»**

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ РЕДАКЦИОННОГО СОВЕТА – ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР ЖУРНАЛА:

Николашин Юрий Львович Генеральный директор ПАО «Интелтех».
Кандидат технических наук.

ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА ЖУРНАЛА:

Кулешов Игорь Александрович Первый заместитель генерального директора
ПАО «Интелтех» по научной работе.
Доктор технических наук, доцент.

ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА ЖУРНАЛА (Председатель редколлегии):

Будко Павел Александрович Ученый секретарь ПАО «Интелтех».
Доктор технических наук, профессор.

ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОГО СОВЕТА:

Катанович Андрей Андреевич Главный научный сотрудник НИИ ОСИС ВМФ ВУНЦ
ВМФ «Военно-морская академия имени Н.Г. Кузнецова».
Доктор технических наук, профессор.
Заслуженный изобретатель РФ.

Кузичкин Александр Васильевич Заместитель генерального директора Научно-
исследовательского института телевидения
по информационным технологиям.
Доктор технических наук, профессор.
Заслуженный деятель науки РФ, Заслуженный связист РФ.

Курносков Валерий Игоревич Заместитель генерального директора АО «НИИ «Рубин»
по научной работе. Доктор технических наук, профессор.
Заслуженный работник высшей школы РФ.

Лычагин Николай Иванович Заместитель директора научно-технического центра
по развитию ПАО «Интелтех».
Доктор технических наук, профессор.

Мирошников Валентин Иванович Генеральный конструктор ПАО «Интелтех».
Доктор технических наук, профессор.
Заслуженный деятель науки РФ.

Половинкин Валерий Николаевич Научный руководитель ФГУП «Крыловский
государственный научный центр».
Доктор технических наук, профессор.
Заслуженный деятель науки РФ.

Присяжнюк Сергей Прокопьевич Генеральный директор ЗАО «Институт
телекоммуникаций». Доктор технических наук,
профессор. Заслуженный деятель науки РФ.

Чуднов Александр Михайлович Профессор кафедры Военной академии связи имени
Маршала Советского Союза С.М. Буденного
Доктор технических наук, профессор

Яшин Александр Иванович Заместитель генерального директора – директор
научно-технического центра ПАО «Интелтех».
Доктор технических наук, профессор.
Заслуженный деятель науки РФ.

СОСТАВ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ научно-технического журнала «Техника средств связи»

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ:

Будко Павел Александрович ПАО «Интелтех» (г. Санкт-Петербург)
Доктор технических наук, профессор

ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ:

- 1 **Бобровский Вадим Игоревич** ПАО «Интелтех» (г. Санкт-Петербург).
Доктор технических наук, доцент
- 2 **Винограденко Алексей Михайлович** Военная академия связи (г. Санкт-Петербург)
Кандидат технических наук, доцент
- 3 **Габриэльян Дмитрий Давидович** ФНПЦ «Ростовский-на-Дону научно-исследовательский институт радиосвязи» (г. Ростов-на-Дону).
Доктор технических наук, профессор
- 4 **Дорогов Александр Юрьевич** ПАО «Интелтех» (г. Санкт-Петербург).
Доктор технических наук, доцент
- 5 **Жуков Геннадий Анатольевич** ПАО «Интелтех» (г. Санкт-Петербург).
Кандидат технических наук, старший научный сотрудник
- 6 **Легков Константин Евгеньевич** Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского (г. Санкт-Петербург). Кандидат технических наук, доцент
- 7 **Липатников Валерий Алексеевич** Военная академия связи (г. Санкт-Петербург).
Доктор технических наук, профессор
- 8 **Макаренко Сергей Иванович** Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» имени В.И. Ульянова (Ленина). (г. Санкт-Петербург). Доктор технических наук, доцент
- 9 **Маковий Владимир Александрович** АО «Концерн «Созвездие» (г. Воронеж).
Доктор технических наук, старший научный сотрудник
- 10 **Минаков Владимир Федорович** Санкт-Петербургский государственный экономический университет (г. Санкт-Петербург).
Доктор технических наук, профессор
- 11 **Михайлов Роман Юрьевич** Череповецкое высшее военное инженерное училище радиоэлектроники. (г. Череповец). Кандидат технических наук
- 12 **Одоевский Сергей Михайлович** Военная академия связи (г. Санкт-Петербург).
Доктор технических наук, профессор
- 13 **Пашинцев Владимир Петрович** Северо-Кавказский федеральный университет. (г. Ставрополь). Доктор технических наук, профессор
- 14 **Путилин Алексей Николаевич** ПАО «Интелтех» (г. Санкт-Петербург).
Доктор технических наук, профессор
- 15 **Федоренко Владимир Васильевич** Северо-Кавказский федеральный университет. (г. Ставрополь). Доктор технических наук, профессор
- 16 **Финько Олег Анатольевич** Краснодарское высшее военное училище имени генерала армии С.М. Штеменко (г. Краснодар).
Доктор технических наук, профессор
- 17 **Цимбал Владимир Анатольевич** Филиал Военной академии РВСН им. Петра Великого. (г. Серпухов). Доктор технических наук, профессор
- 18 **Семенов Сергей Сергеевич** Военная академия связи (г. Санкт-Петербург).
Доктор технических наук, профессор
- 19 **Саенко Игорь Борисович** Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации Российской академии наук (г. Санкт-Петербург).
Доктор технических наук, профессор
- 20 **Стародубцев Юрий Иванович** Военная академия связи (г. Санкт-Петербург).
Доктор технических наук, 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. First Deputy General Director of PJSC «Inteltech» for Scientific Work.
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 of JSC "NII" Rubin" in scientific work.
Doctor of Technical Sciences, Professor.
Higher School Honored Employee of the Russian Federation

Lychagin N.I. Deputy Director of Science and Technology Development Center 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

Prisyajnik S.P. Director General of CJSC Institute telecommunications.
Doctor of Technical Sciences, professor.
Science Honored Worker of the RF

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 "Intelteh" (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.** FINEK (St. Petersburg).
Doctor of Technical Sciences, Professor
- Mikhailov R.Y.** Cherepovets Higher Military School of radio electronics (Cherepovets).
Doctorate of Technical Sciences
- Odoevsky S.M.** Military Academy of Communications (St. Petersburg).
Doctor of Technical Sciences, Professor
- Pashintsev V.P.** North Caucasus Federal University. Institute of Information Technology
and Telecommunications (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
- Fin'ko O.A.** Krasnodar Higher Military School named after General
of the Army S.M. Stemenko (Krasnodar).
Doctor of Technical Sciences, Professor
- Tsymbal 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.** SPII RAN (St. Petersburg).
Doctor of Technical Sciences, Professor
- Starodubtsev Y.I.** Military Academy of Communications (St. Petersburg).
Doctor of Technical Sciences, Professor

СОДЕРЖАНИЕ

Колонка главного редактора	12
Николашин Ю. Л., Будко П. А., Жуков Г. А. <i>Основные направления модернизации декаметрового системы связи</i>	13
Мирошников В. И., Шевченко В. В. <i>Использование опыта организации связи в начальный период Великой Отечественной войны в современных условиях</i>	26
Кулешов И. А., Солозобов С. А., Махортов Ю. Ф., Шевченко В. В. <i>Анализ опыта строительства тропосферных радиолоний и предложения по созданию сети тропосферной радиосвязи в арктической зоне Российской Федерации</i>	36
Бикчинтаева Н. Г., Дмитриев В. В., Орлова О. В. <i>Логический алгоритм демодуляции цифрового частотно-модулированного сигнала</i>	41
Бобровский В. И., Скворцов А. К. <i>Применение перенасыщенной системы сигналов в каналах декаметрового радиосвязи</i>	52
Будко П. А., Винограденко А. М., Кузнецов С. В., Гойденко В. К. <i>Способ контроля технического состояния радиоэлектронного оборудования на основе комплексирования показаний нескольких типов датчиков</i>	60
Будко П. А., Винограденко А. М., Гойденко В. К., Меженев А. В. <i>Реализация способа многоуровневого комплексного контроля технического состояния радиоэлектронной системы</i>	67
Васильев Н. В., Раков И. В., Забродин О. В., Куликов Д. В. <i>Аналитические и синтетические oss: анализ подходов и методов</i>	82
Гойденко В. К. <i>Методика теплового контроля и диагностирования современных программно-аппаратных комплексов связи</i>	95
Ипатов М. Е., Белоус Д. В., Сиразетдинов Р. Р. <i>Система электронного оборота распорядительных и информационно-справочных документов предприятия</i>	100
Ипатов М. Е., Белоус Д. В., Сиразетдинов Р. Р. <i>Электронная подпись в системе внутреннего электронного документооборота</i>	107
Киселев А. А. <i>Моделирование сети связи для стационарных и динамических условий функционирования</i>	112
Киселев Д. В. <i>О подходе к оценке работоспособного состояния программно-аппаратных комплексов связи</i>	120
Козин И. С., Рощин А. А. <i>Метод определения опасности угрозы персональным данным личного состава объекта</i>	123
Лапицкий В. Ф., Машкин И. В., Фролов К. В., Харченко О. В. <i>Современный подход к моделированию электромагнитной обстановки на морских подвижных объектах</i>	132
Ломакова А. С., Русин С. В., Савенкова Ю. В., Скворцов А. К. <i>Актуальная проблема авианесущего флота — миниатюризация корабельной передающей ДВ- СВ антенны приводной радиостанции и результаты её решения</i>	138
Мешалкин В. А., Пашкевич В. Д., Русин С. В. <i>Возможности континентальных радиоцентров в обеспечении связи с кораблями на трассах Северного морского пути</i>	145
Моисеев А. А., Чуев А. В., Салюк Д. В., Киселев А. А. <i>Инфокоммуникационная сеть, как объект системного анализа</i>	150

Одоевский С. М., Салюк Д. В., Степаненко В. В. <i>Обобщенная топологическая модель инфокоммуникационной сети подводной связи</i>	159
Путилин А. Н., Шаптала В. С. <i>Иерархическое манипуляционное кодирование для сигнально-кодовой конструкции на основе трехмерной симплекс-решетки</i>	164
Севастьянов С. И. <i>Замысел создания экспериментально-испытательной базы оборонно-промышленного комплекса</i>	170
Талагаев В. И., Лебедев Д. В. <i>Автоматизация процессов выбора трасс каналов в региональной сети связи</i>	177

CONTENTS

Editor-in-chief column	12
Nikolashin Y.L., Budko P.A., Zhukov G.A. <i>The main directions of Decameter Radio Channels communication system modernization</i>	13
Mirosnikov V. I., Shevchenko V. V. <i>Use of initial communication experience The Great Patriotic War in modern conditions</i>	26
Kuleshov I. A., Solozobov S. A., Mahorov Y.F., Shevchenko V.V. <i>Analysis of experience in the construction of tropospheric radio links and proposals for the establishment of a tropospheric radio communication network in the Arctic zone of the Russian Federation</i>	36
Bikchintaeva N.G., Dmitriev V.V., Orlova O.V. <i>Logic algorithm for demodulating of digital frequency modulated signal</i>	41
Bobrovskiy V.I., Skvortsov A.K. <i>Application of Supersaturated Signal System in Decameter Radio Channels</i>	52
Budko P.A., Vinogradenko A.M., Kuznetsov S.V., Goydenko V.K. <i>Method of technical condition monitoring of radio electronic equipment based on integrations of several types of sensors indications</i>	60
Budko P. A., Vinogradenko A.M., Goydenko V.K., Mezhenov A.V. <i>Implementation of the method of multilevel integrated control of the technical state of the radio-electronic system</i>	67
Vasilyev N.V., Rakov I.V., Zabrodin O.V., Kulikov D.V. <i>Analytical and synthetic oss: approaches analysis and methods</i>	82
Goydenko V.K. <i>Methods of thermal control and diagnostics of modern communication hardware and software systems</i>	95
Ipatov M.E., Belous D.V., Sirazetdinov R.R. <i>System of electronic turnover of administrative and information and reference documents of the enterprise</i>	100
Ipatov M.E., Belous D.V., Sirazetdinov R.R. <i>Electronic signature in the system of internal electronic document circulation</i>	107
Kiselev A.A. <i>Communication network modeling for stationary and dynamic operating conditions</i>	112

Kiselev D.V. On approach to assessment of operable condition communication hardware and software systems.....	120
Kozin I.S., Roshchin A.A. Method of determining danger hazard to personal data of personnel of the facility.....	123
Lapitsky V.F., Mashkin I. V., Frolov K.V., Harchenko O.V. State-of-the-Art Approach to Electromagnetic Modeling on offshore mobile facilities.....	132
Lomakova A.S., Rusin S.V., Savenkova Y.V., Skvortsov A.K. The current problem of the air-carrying fleet is miniaturization of the ship transmitting the DV-SV antenna of the drive radio station the results of its solution.....	138
Meshalkin V.A., Pashkevich V.D., Rusin S.V. Capacity of continental radio centres to communicate with.....	145
Moises A.A., Chuev A.V., Salyuk D.V., Kiselev A.A. Infocommunication network, as a system analysis object.....	150
Odoevsky S.M., Salyuk D.V., Stepanenko V.V. Generalized topological model of the subsea communication infocommunication network.....	159
Putilin A.N., Shaptala V.S. Hierarchical manipulation coding for signal code Constructs based on a three-dimensional simplex lattice.....	164
Sevast'yanov S.I. Design of an experimental test base defense industry complex.....	170
Talagaev V.I., Lebedev D.V. Automation of channel path selection processes in the regional communication network.....	177

Колонка главного редактора



Уважаемые авторы и читатели!

Очередной номер научно-технического журнала «Техника средств связи» продолжает традиции всесоюзных журналов «Вопросы радиоэлектроники» серии «Техника проводной связи»; «Вопросы специальной радиоэлектроники» серии «Техника проводной связи», которые издавались с 1959 года Министерством промышленности средств связи СССР. С 1975 года журнал называется «Техника средств связи».

В течение 60 лет журнал развивается как научное издание Публичного акционерного общества «Информационные телекоммуникационные технологии» и постоянно действующего научно-технического совета Общества. Журнал ориентирован на публикацию результатов научных исследований специалистов в области современных инфокоммуникационных технологий и автоматизированных систем управления, средств связи и информационной безопасности.

2019 год ознаменован несколькими важными событиями в мировой науке и научном сообществе нашей страны: 160-я годовщина со дня рождения изобретателя радио, русского физика и электротехника А.С. Попова; 110-летие Службы связи Военно-Морского Флота; 100-летие Войск связи Вооруженных Сил Российской Федерации.

Коллектив редакции журнала поздравляет ветеранов ПАО «Интелтех» и Войск связи, ученых, инженеров и специалистов отрасли, а также постоянных авторов и читателей журнала с приближающимися юбилеями, а также с наступающим Днем Защитника Отечества! Желаем новых успехов в научной деятельности и ждем встречи на страницах нашего издания!

*С уважением,
О.А. Николашин
главный редактор*

Ю. Л. Николашин

кандидат технических наук, генеральный директор ПАО «Интелтех»

П. А. Будко

доктор технических наук, профессор, ученый секретарь ПАО «Интелтех»

Г. А. Жуков

кандидат технических наук, доцент, советник генерального конструктора ПАО «Интелтех»

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ МОДЕРНИЗАЦИИ ДЕКАМЕТРОВОЙ СИСТЕМЫ СВЯЗИ

АННОТАЦИЯ. В статье представлена топология декаметровый радиосети, обеспечивающей оптимальный энергетический контакт между корреспондирующими центрами связи на территории страны, что позволяет организовать автономную декаметровую радиосеть, которая в свою очередь рассматривается как элемент гетерогенной сети связи. Дана оценка устойчивости декаметровой радиосвязи при территориально-разнесенном приеме. Рассмотрен вариант построения передающего и приемного радиоцентров, как элементов такой радиосети, а также вариант их модернизации и дооснащения.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: территориально-разнесенный прием, декаметровая радиосвязь, радиоцентр, радиолиния, фазированная антенная решетка.

Введение

Устойчивое управление силами воздушно-морского и наземного эшелонов является одним из основных условий успешного решения военных конфликтов.

Взаимодействие видовых пунктов управления (ПУ-В) с мобильными и стационарными исполнительными звеньями (ИЗ) осуществляется, как правило, путем использования радиоканалов различных диапазонов волн. Обмен данными ПУ-В с высшими звеньями управления (ВЗУ) реализуется путем «привязки» к узлам присоединения объединенной автоматизированной цифровой системы связи (ОАЦСС) ВС РФ с использованием выделенных проводных, радиорелейных или волоконно-оптических линий связи [1].

В последнее время значительно увеличивается объем информации, передаваемой в направлениях ПУ — ИЗ — ПУ с задействованием спутниковой связи, однако это не означает, что она должна в целом заменить декаметро-

вую (ДКМ) связь. Из анализа отечественных и зарубежных материалов следует, что, ДКМ радиосвязь в ряде случаев оказывается безальтернативной при доведении приказов от ПУ до глобально перемещающихся объектов (ГПО), а также сообщений от ИЗ до ПУ [2–5]. Так, например, в США функционирует и постоянно модернизируется резервная ДКМ радиосеть федерального агентства по действиям в чрезвычайной обстановке «FEMA», национальная резервная система ДКМ радиосвязи «SHERES», являющаяся составной частью National Communications System (NCS). В глобальной информационной четырехуровневой сети связи, создаваемой США с целью реализации концепции сетевцентрической войны (Network-Centric Warfare — NCW) [6], резервным элементом является ДКМ радиосеть ориентированная на управление войсками в тактических и стратегических звеньях управления в условиях, когда основные системы связи не развернуты или их функционирование нарушено. Рассматривая развитие ДКМ связи в качестве важного

фактора обеспечения надежного и непрерывного управления войсками в условиях NCW, в США и в странах НАТО проводятся работы по модернизации существующих и разработке новых технических средств радиосвязи, ориентированных на повышение быстродействия и устойчивости обмена информацией в любых условиях радиоэлектронной обстановки. При этом обращается внимание на обеспечение высокого коэффициента унификации и стандартизации вновь создаваемых средств связи за счет широкого внедрения SDR-технологий.

Учитывая значительную протяженность границ РФ, а также наличие национальных интересов в морской и океанской зонах, обеспечение устойчивого обмена данными с ГПО является важной задачей. Поэтому развитию декаметровый радиосвязи, позволяющей реализовать взаимодействие между объектами, удаленными на расстояния до 12 тыс. км традиционно уделяется внимание со стороны российских гражданских и военных ведомств. За последние годы предприятиями страны созданы технические средства (ТС) и комплексы технических средств (КТС) нового поколения (в том числе на базе SDR-технологий), позволяющие обеспечить глубокую модернизацию ДКМ радиопунктов (РЦ) с целью повышения вероятностно-временных характеристик (ВВХ) обмена данными между ГПО и ПУ с одновременным снижением энергопотребления и массо-габаритных пока-

зателей новых ТС и КТС для специализированных приемных радиопунктов (СПРЦ), передающих радиопунктов (ПДРЦ) и абонентов ДКМ сети радиосвязи.

В статье рассматриваются варианты построения радиопунктов и сетей ДКМ радиосвязи, обеспечивающих взаимодействие между видовыми пунктами управления и их исполнительными звеньями.

1. Модернизация радиопунктов

Обмен данными в декаметровом диапазоне волн видовых пунктов управления с подчиненными исполнительными звеньями осуществляется с задействованием стационарных и мобильных радиопунктов. При этом видовые пункты управления, находящиеся в одном регионе (взаимное удаление до 50 ÷ 100 км), как правило, ориентированы на работу с собственными передающими и приемными радиопунктами, а взаимодействие как региональных, так и территориально-разнесенных ПУ-В может осуществляться только через ОАЦСС (см. рис. 1).

Очевидно, что при модернизации РЦ целесообразно обеспечить возможность их доступности для видовых пунктов управления, расположенных в одном регионе путем организации информационно-технического сопряжения между ними высокоскоростными каналами обмена данными.

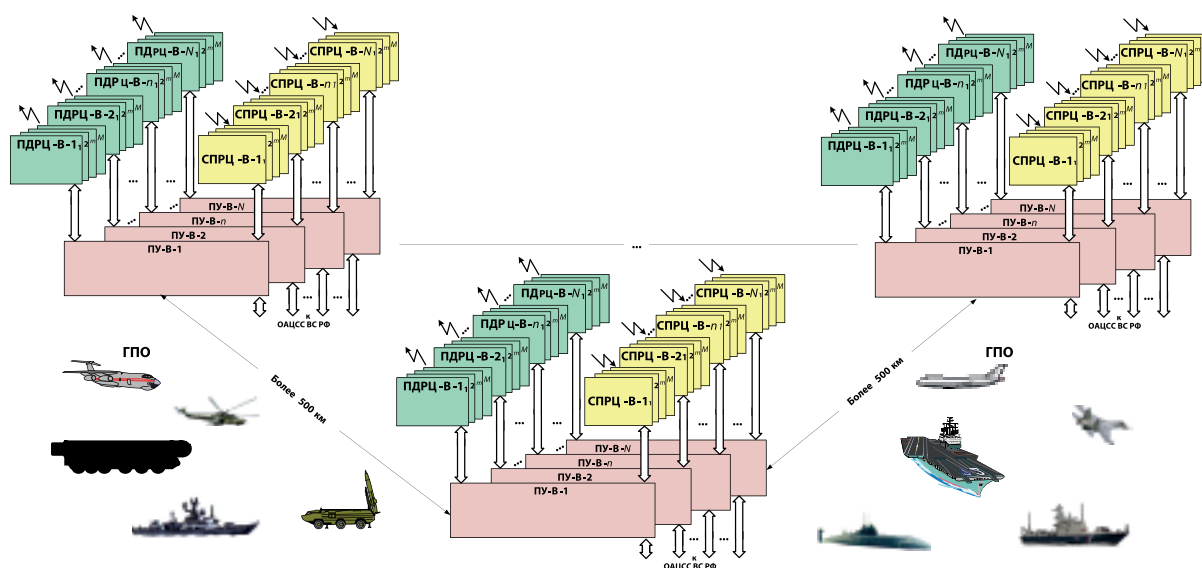


Рис. 1

На рис. 2 приведена структурная схема варианта дооснащения (модернизации) типового ПУ-В, ПДРЦ и СПРЦ. Команда, подлежащая доведению до соответствующих абонентов формируется согласно принятой организации связи в функциональном модуле обработки сообщений (ФМОС) и выдается через аппаратуру шифрования (АШ) в модуль информационно-технического сопряжения (МИТС). При этом учитывается техническая вооруженность абонентов, их координаты, время сеанса связи и т. п.

В модуле МИТС с учетом имеющихся исходных данных формируется канальная структура для штатных (унаследованных) радиолиний (РЛ) и исходная структура сообщения, подлежащего преобразованию для информационно-логического сопряжения с модемами новых радиолиний (см. рис. 2). Полученные таким образом сообщения адресно доводятся до конкретных ТС передающих радиоцентров. При этом в соответствии со схемой связи в передаче сообщения может быть задействовано от одного до пяти территориально-разнесенных ПДРЦ, а также несколько радиопередающих устройств на каждом ПДРЦ для реализации частотного разнесения, обеспечивая повышение вероятности доведения информации до абонентов [7].

Различные сигнально-кодовые конструкции (СКК), используемые для реализации ДКМ радиолиний, как правило, ориентированы на решение определенных задач, таких как, снижение времени доведения и вероятности трансформации знаков сообщения, обеспечения скрытности излучения, реализации мультимедийных услуг и т. п. Однако, для оценки возможности решения указанных задач для любой ДКМ РЛ при организации связи с удаленным абонентом необходимо учитывать основные характеристики радиотрассы, зависящие от сезона, времени суток и взаимного географического расположения пунктов приема и передачи информации.

Для примера на рис. 3 и 4 приведены графики прогнозируемого хода максимально применимых (МПЧ) и оптимальных рабочих частот (ОРЧ) для радиотрассы Москва—Гавана и Москва—Лондон, полученные по «Долгосрочному прогнозу...» [8] на 23.01.2018 г., а на рис. 5 соответствующие им соотношения мощности сигнала и мощности шума для случая $P_{изл} \approx 10$ кВт на ОРЧ трассы 1, полосы сигнала

$\Delta f \approx 150$ Гц при использовании приемных и передающих антенн с равными коэффициентами усиления $K_{yc} \approx 8$ дБ во всем диапазоне рабочих частот.

Из сравнительного анализа графиков следует, что если при доведении сообщения до г. Гавана в 13.00 (UT) будет обеспечен энергетический контакт с абонентом, то в это же время значение $P_c/P_{ш}$ наблюдаемого сигнала в районе г. Лондон будет в 100000 раз выше, т. е. для такого случая проблематично обеспечить скрытность излучения сигнала. Вместе с тем, используя режим быстрой ППРЧ, даже в таких условиях может быть реализована информационная скрытность и возможность доведения информации в условиях воздействия случайных и преднамеренных помех [7].

Как показывают расчеты и результаты трассовых испытаний, для устойчивого обмена данными с ИЗ, находящимися на значительных удалениях от ПДРЦ, целесообразно, без увеличения мощности РПДУ свыше 5 кВт, обеспечить суммарный коэффициент усиления приемной и передающих антенн не менее $18 \div 20$ дБ, а в радиомодеме реализовать возможность работы не только на высоких, но и на пониженных скоростях $V = 1 \div 5$ бит/с во всем ДКМ диапазоне частот [9]. При работе РЛ в адаптивном режиме необходимая скорость обмена данными будет установлена автоматически, а в случае передачи информации для объектов, находящихся в режиме радиомолчания, на последних следует установить многоканальный SDR-РПУ с демодуляторами, ориентированными на прием «сетки» скоростей [10].

Таким образом, для повышения характеристик доведения информации до глобально перемещающихся ИЗ целесообразно дооснастить ПДРЦ адаптивными и симплексными ППРЧ радиолиниями с широкой «сеткой» рабочих скоростей передачи, радиопередающими устройствами типа РПДУ-М1(5) [11] и дополнительными КВ поворотными логопериодическими антеннами типа «Сектор» [12]. Кроме того, радиоцентры должны быть оборудованы резервными защищенными антенно-фидерными устройствами типа «Октава», обладающими сейсмоустойчивостью и обеспечивающими функционирование в адаптивных автоматизированных сетях ДКМВ радиосвязи, в том числе в радиолиниях с режимом ППРЧ [13].

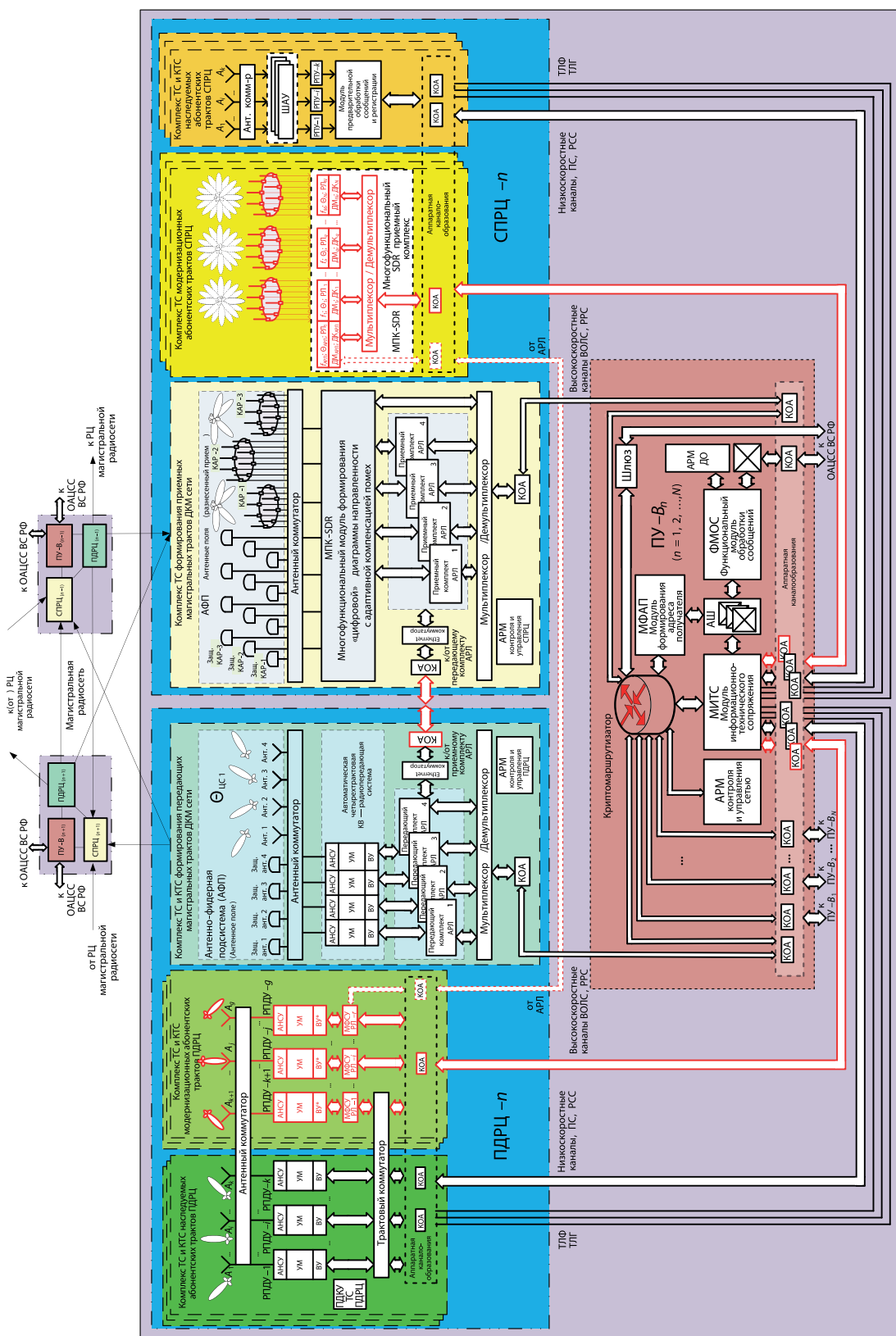


Рис. 2

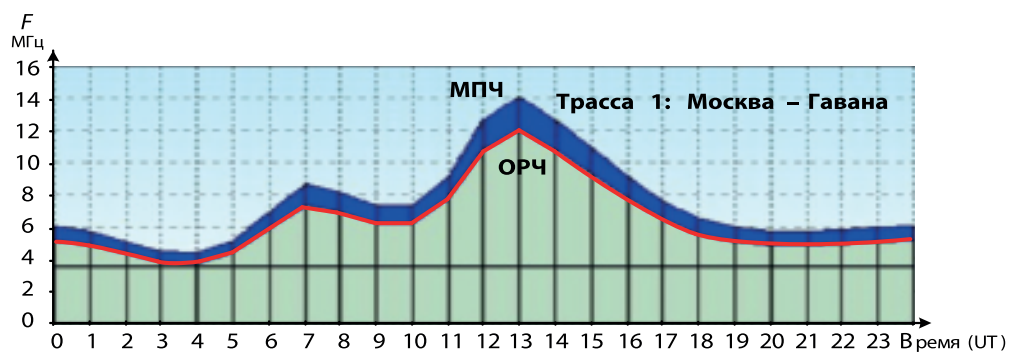


Рис. 3

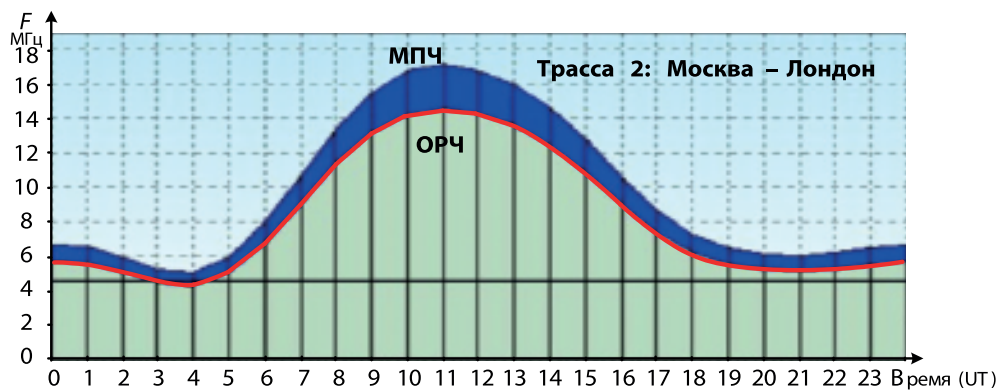


Рис. 4

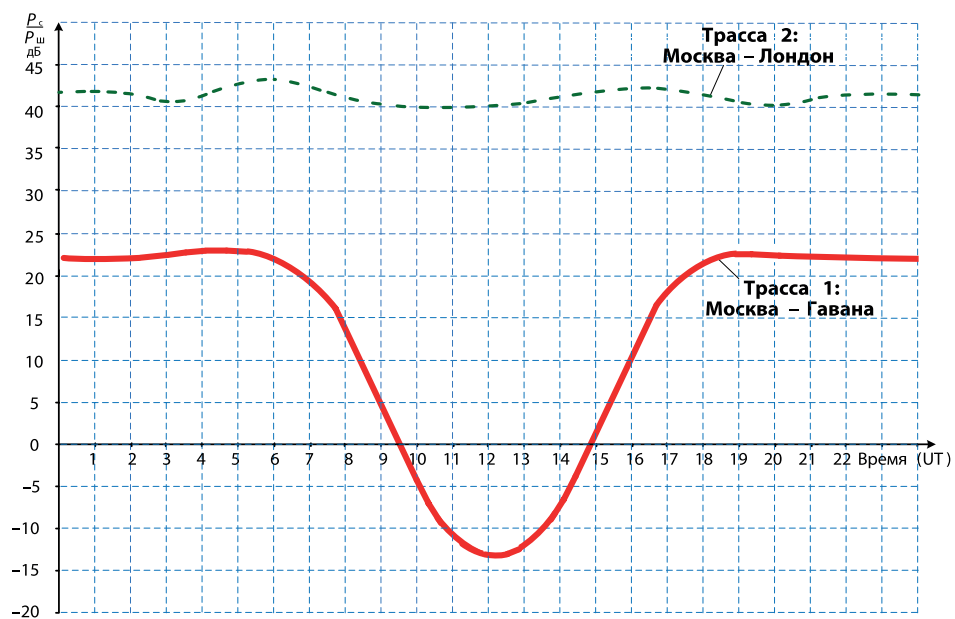


Рис. 5

Поскольку объекты, взаимодействующие с ПУ-В (надводные корабли — НК, подводные лодки — ПЛ, воздушные суда и т. д.) не всегда могут быть обеспечены мощными ДКМВ РПДУ и передающими АФУ с большим коэффициентом усиления, специализированные приемные радиостанции должны быть оснащены эффективными антенно-фидерными подсистемами. В настоящее время на СПРЦ для «дальней» связи, как правило, используются антенны типа БС и РГ, основными недостатками которых являются высокая стоимость, сложность в эксплуатации, большая площадь антенного поля, а также низкая эксплуатационная надежность, что практически исключает возможность реализации 3 ÷ 5-ти канального пространственно-разнесенного приема в каждом азимутальном секторе, а это в свою очередь резко снижает вероятность устойчивого приема в условиях «замираний» сигнала, характерных для ДКМ связи [14]. Одним из вариантов устранения указанного недостатка является оснащение СПРЦ «кольцевыми» фазированными антенными решетками (ФАР) типа КАРС-В2Г [13], с формированием «веера» диаграмм направленности (ДН) или ЦФАР с «цифровым» синтезом диаграмм направленности с использованием многоканальных КВ SDR-модулей [11].

Дополнительно необходимо отметить, что в силу ограниченности площади, занимаемой КФАР (по сравнению со стационарными антеннами типа 2БС-2) их применение позволяет реализовать 3 ÷ 5-канальное ПРП с компенсацией помех на существующих антенных полях, обеспечивая тем самым высокую вероятность приема в условиях замирания сигнала и наличия преднамеренных помех.

Кроме того, поскольку при прохождении ионосферных слоев происходит изменяющийся во времени поворот плоскости поляризации радиоволн, оказывается эффективным совместный прием на антенну с вертикальной и горизонтальной поляризацией, что реализовано в КАРС-В2Г [13].

Применение трех таких антенных решеток с пространственным разнесением и сложением шести каналов (3-х с вертикальной поляризацией и 3-х с горизонтальной) позволит на «односкачковых» радиотрассах при использовании РПДУ с мощностью до 5 кВт и передающего АФУ с $K_{\text{вс}} \geq 12$ дБ в диапазоне 2 ÷ 25 МГц, обеспечить необходимое значение скорости

передачи $V \geq 50$ кБит/с при вероятности ошибки $p_{\text{ош}} \leq 10^{-3} \div 10^{-4}$ на односкачковой ДКМ радиотрассе.

Современные технологии позволяют реализовать многофункциональный SDR приемный комплекс, полностью решающий задачи формирования заданного числа секторов приема, пространственно-разнесенный прием (ПРП), а также многоканальную обработку сообщений в структуре унаследованных и перспективных радиолиний. При этом управление SDR-комплексом и обновление его программного обеспечения может осуществляться с удаленного АРМ через Ethernet-интерфейс, например с АРМ дежурного оператора — ДО (см. рис. 2).

В работе [14] показана эффективность применения территориально-разнесенного приема сообщений от ГПО, который может быть реализован только в случае объединения пунктов управления общей сетью связи. Как было отмечено выше, в соответствии с идеологией построения объединенной автоматизированной цифровой сети связи (ОАЦСС) ВС РФ все видовые пункты управления имеют возможность выхода в указанную сеть по выделенным каналам. Однако с точки зрения повышения надежности доведения команд в чрезвычайных условиях и снижения «загрузки» ОАЦСС копиями сообщений, поступающих от разнесенных на значительные расстояния ПУ (см. рис. 1), целесообразно обеспечить дублирование ее каналов с помощью дополнительной сети связи.

Исходя из возможного варианта топологии размещения РЦ (рис. б) на территории страны, а также учитывая значительную протяженность и труднодоступность ряда районов, их объединение новыми каналами проводной или волоконно-оптической связи с экономической точки зрения, а также с точки зрения надежности и безопасности связи нецелесообразно. Частично аналогичные недостатки имеются и у вариантов построения межцентрового взаимодействия с использованием радиорелейных, тропосферных и спутниковых каналов связи.

С учетом этого оценим возможность создания новой сети на базе декаметровых радиолиний.

Хотя представленный на рис. б вариант топологии размещения РЦ на территории страны с точки зрения распространения радиоволн (РРВ) является оптимальным, однако без

принятия дополнительных мер по повышению помехоустойчивости ДКМ радиосвязи (работа на ОРЧ, использование ТРП, ПРП, ФАР, эффективной СКК и др.) особенно в условиях воздействия помех, вероятность приема даже коротких сообщений («пакетов») может оказаться неприемлемо низкой. Вместе с тем, реализация указанных выше мер позволяет обеспечить вероятность приема $P_{пр} > 0,95$, даже в «плохих» условиях связи.

Для примера на рис. 7 приведены результаты теоретических расчетов вероятности безошибочного приема $P_{пр}$ короткого пакета сообщения объемом 50 бит при совместном использовании территориально-разнесенного приема (ТРП), ПРП, ФАР с формированием «веера» порционных диаграмм направленности с реализацией автоматической компенсации помех [15]. Цифрами 1–5 на рис. 7 обозначены соответственно следующие варианты приема:

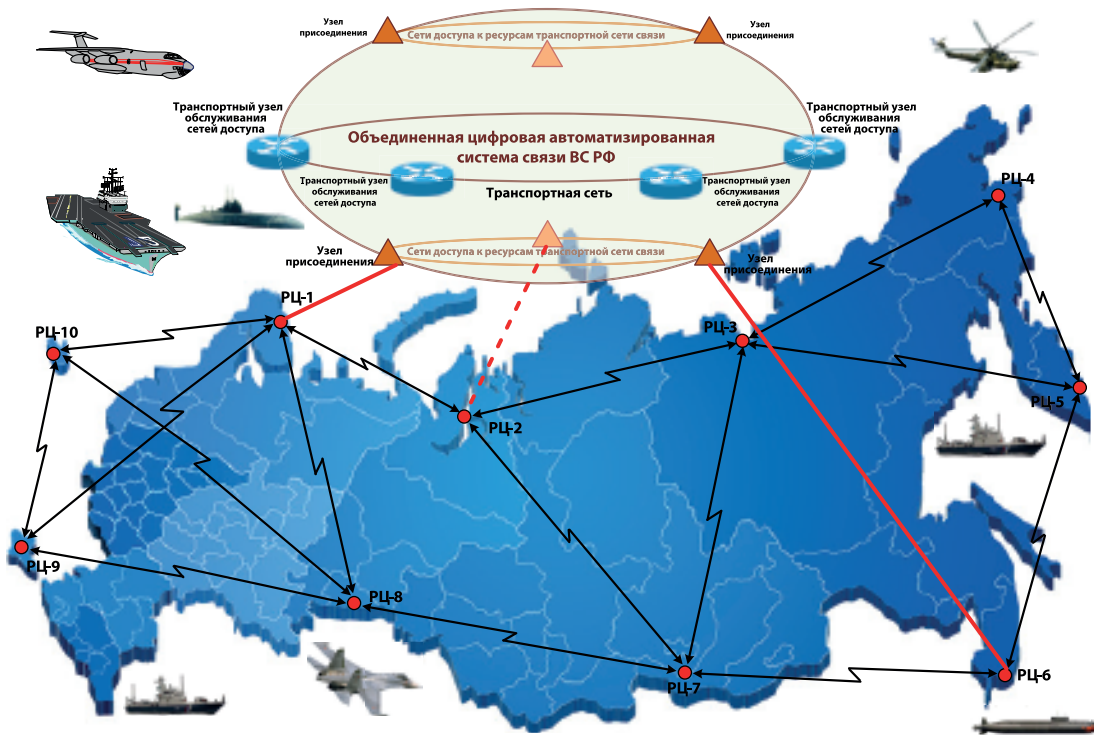


Рис. 6

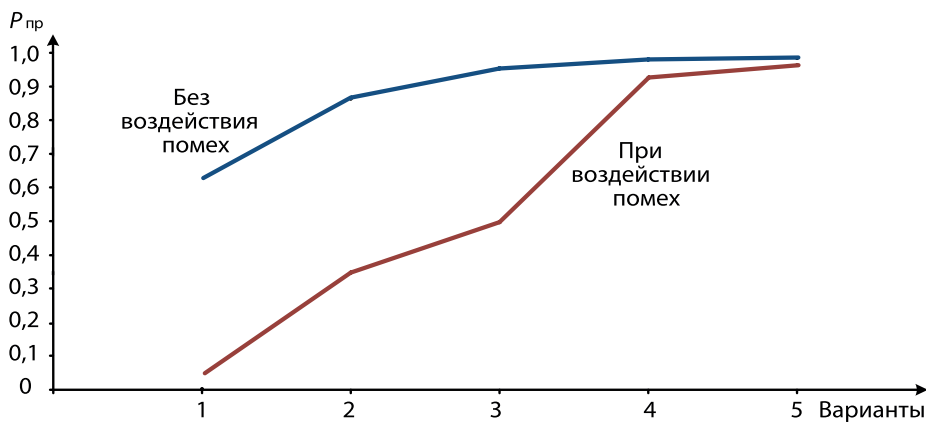


Рис. 7

1 – прием на всенаправленную (штыревую) антенну РЦ-1;

2 – прием на фазированную антенную решетку на РЦ-1;

3 – пространственно-разнесенный прием на три ФАР на РЦ-1;

4 – прием с использованием ФАР на РЦ-1 ÷ РЦ-3;

5 – прием с использованием трех пространственно-разнесенных систем с ФАР на каждом из трех территориально-разнесенных РЦ-1 ÷ РЦ-3.

Расчеты велись с учетом релейского закона замираний сигналов (помехи) и долгосрочного прогноза состояния ионосферы на 01.11.2017 г. (усредненные за сутки), с учетом следующих исходных данных: передача сообщений осуществляется в режиме ЧТ-100 с объекта, находящегося в Баренцевом море; мощность излучения $P_{изл} = 1$ кВт; мощность излучения помехи $P_{изл.п} = 50$ кВт из района Северного моря.

Сравнительный анализ численных значений вероятности безошибочного приема коротких сообщений ($P_{пр}$) для различных вариантов приема доказывает высокую эффективность совместного использования ТРП, мультидиаграммной ФАР с ПРП, особенно в условиях воздействия мощных помех. Необходимо отметить, что при использовании СКК с изменением рабочей частоты РЛ по псевдослучайному закону (ППРЧ) помехоустойчивость будет соответствовать верхней кривой, даже в условиях постановки преднамеренных помех, если длительность передачи на каждой частоте будет меньше реакции средств РЭБ.

Из приведенных примеров и расчетов следует, что для обеспечения устойчивого приема сообщений от удаленных ГПО необходимо использовать территориально-распределенную сеть СПРЦ. Исходя из значительной протяженности границ РФ и национальных интересов России в морских и океанских зонах на рис. 6 представлен оптимальный вариант размещения РЦ с точки зрения их взаимодействия, а также с точки зрения обеспечения возможности реализации одновременного энергетического контакта удаленных ГПО с двумя — пятью РЦ. Следует отметить, что приведенная на рис. 6 топология размещения радиоцентров позволяет обеспечить прием сообщений и от объектов (оснащенных соответствующими ТС и КТС), расположенных на территории страны, поскольку в представленной топологии для лю-

бого пункта на территории РФ всегда найдется РЦ, расположенный на оптимальном, с точки зрения РРВ, расстоянии 2000 ÷ 2800 км [16].

Отмеченная выше необходимость работы РЛ на ОРЧ в реальном масштабе времени может быть достигнута путем реализации специальных постов зондирования ионосферы. Однако, создавать отдельную сеть зондирования со своими АФУ, РПДУ, РПУ, ТС сопряжения с РЦ (СПРЦ и ПДРЦ) в интересах работы межузловых радиотрактов экономически и технически нецелесообразно, поскольку современные достижения в области SDR-технологий позволяют реализовать магистральные адаптивные радиолинии (МАРЛ), не требующие дополнительного введения данных по ОРЧ для вхождения или восстановления связи, что достигается за счет использования многоканальных, широкополосных радиоприемных (РПУ) и многоканальных возбуждающих устройств [17, 18], современных цифровых методов обработки сигналов и алгоритмов функционирования радиолиний. При необходимости, перспективная МАРЛ может быть запрограммирована для реализации заданных алгоритмов передачи сигнала зондирования с «защитой» вставкой своего адреса и условного номера списка частот для осуществления вхождения или восстановления связи, в том числе в сети [19–21].

Данные по результатам зондирования ионосферы (или косвенного зондирования по результатам анализа «частотных» переходов в процессе функционирования МАРЛ) могут накапливаться, анализироваться и использоваться в процессе последующих сеансов вхождения и ведения радиосвязи непосредственно в комплексе ТС МАРЛ. Кроме того, для повышения эффективности первоначального вхождения в связь (или восстановления связи) в радиолинии могут автоматически использоваться имеющиеся пакеты программ долгосрочного прогнозирования прохождения ДКМ-радиоволн на различных трассах [8, 22].

Исходя из приведенного анализа методов повышения помехоустойчивости приема и новых технологий по созданию эффективных ТС и КТС на рис. 2 приведен вариант комплексирования видового ПДРЦ и СПРЦ техническими средствами для формирования узлового радиоцентра ДКМ радиосети. При этом следует отметить, что по ряду технических причин, а также учитывая экономические оценки, разверты-

вание каждого из узловых радиочастотных центров ДКМ сети следует проводить на одном из региональных РЦ (СПРЦ и ПДРЦ), имеющего необходимые дополнительные площади для размещения элементов сетевого узла, а также достаточно развитую инфраструктуру технического и бытового обеспечения. Причем необходимая надежность сети должна реализовываться за счет ее топологии и схемы связности узловых РЦ.

Исходя из максимального числа направлений связи (до четырех) для РЦ сетевого узла в варианте топологии сети, приведенного на рис. 6, представляется целесообразным дооснащение ПДРЦ автоматической четырехтрактовой КВ-радиопередающей системой ($P_{\text{изл}} = 4 \times 5 \text{ кВт}$) с возможностью работы на защищенные [13] и на направленные передающие антенны [12], ориентированные на соответствующие РЦ.

Автоматическое адресное взаимодействие пунктов управления обеспечивается программно-аппаратным маршрутизатором, реализующим заданный сетевой протокол. Наряду с автоматической маршрутизацией в ДКМ радиосети должна быть предусмотрена возможность оперативного (неавтоматизированного) управления сетью в нештатных ситуациях в составе основного, 1-го запасного и 2-го запасного АРМ управления, располагающихся на территориальных ПУ-В, имеющих соответствующий приоритет в управлении сетью.

Как следует из рис. 2 абонентами сети с конкретным адресом являются видовые пункты управления (ПУ-В_{*n*}, $n = 1, 2, \dots, N$) и ОАЦСС. При этом доведение сообщений принятых от ГПО до конечного получателя напрямую через маршрутизатор ДКМ радиосети нельзя реализовать, т.к. адрес получателя может быть определен только после обработки сообщения в МИТС и ФМОС (из состава ПУ-В). Поэтому структура сообщения от ГПО сформированного в ПУ-В и подлежащего передаче по ДКМ радиосети должна быть дополнена адресом (после АШ) в модуле формирования адреса получателя (МФАП) с последующим «закрытием» в криптомаршрутизаторе.

2. Оценка скорости обмена данными в ДКМ радиосети

Одним из важных параметров сети связи является межузловая скорость обмена данными («пакетами»). Учитывая это, проведем оценку

максимальных значений по скорости передачи данных на примере однокачковой радиотрассы РЦ2 — РЦ3 (отметим, что в варианте размещения РЦ, представленном на рис. 6, обеспечивается удаление между соседними центрами не более чем на 2800 км). Результаты расчетов соотношения сигнал/шум при работе на оптимальных частотах для этой наиболее «сложной» радиотрассы (зимний период с минимальной солнечной активностью) приведены на рис. 8 (кривая зеленого цвета). При этом предполагалось, что сигнал передается в полосе $\Delta f_c \approx 150 \text{ Гц}$, $P_{\text{изл}} \approx 1 \text{ кВт}$ с использованием все-направленных приемной и передающей антенн («опорный» режим).

Исходя из известной формулы Шеннона-Хартли [24]:

$$V = \log_2 \left(1 + \frac{P_c}{\Delta f_c N_o} \right)^{\Delta f_c} = \Delta f_c \log \left(1 + \frac{P_c}{P_{\text{ш}}} \right),$$

где V — скорость передачи, N_o — спектральная плотность шума, на рис. 9 приведены расчетные данные максимально достижимой скорости передачи в зависимости от Δf_c для фиксированных значений P_c/N_o , пересчитанных относительной полосы сигнала $\Delta f_c = 150 \text{ Гц}$ для шести значений $P_c/P_{\text{ш}}$ «опорного» режима работы (15 дБ, 20 дБ, 25 дБ, 30 дБ и 40 дБ характерных для рассматриваемых межцентровых «однокачковых» ДКМ радиотрассы).

Как следует из графика рис. 8 для «сложной» радиотрассы при указанной мощности излучения и антенн с малым коэффициентом усиления отношение сигнал/шум находится в диапазоне $8 \div 17 \text{ дБ}$, т.е. в этом случае значительное расширение полосы сигнала не позволяет заметно увеличить потенциально возможную скорость передачи данных, см. рис. 8.

Для радиотрассы с рассмотренными характеристиками обеспечение эффективного прироста скорости при расширении полосы сигнала может быть достигнуто путем значительного повышения отношения $P_c/P_{\text{ш}}$ (на 18 дБ и более, см. пунктирную зеленую линию рис. 8).

В статье [21] представлены материалы по результатам испытаний адаптивной радиолинии АО «ОНИИП» на трассе Москва-Омск, проведенных в марте 2015 года, в ходе которых регистрировалась скорость передачи данных 124 кБит/с при использовании логопериодических приемной и передающей антенн

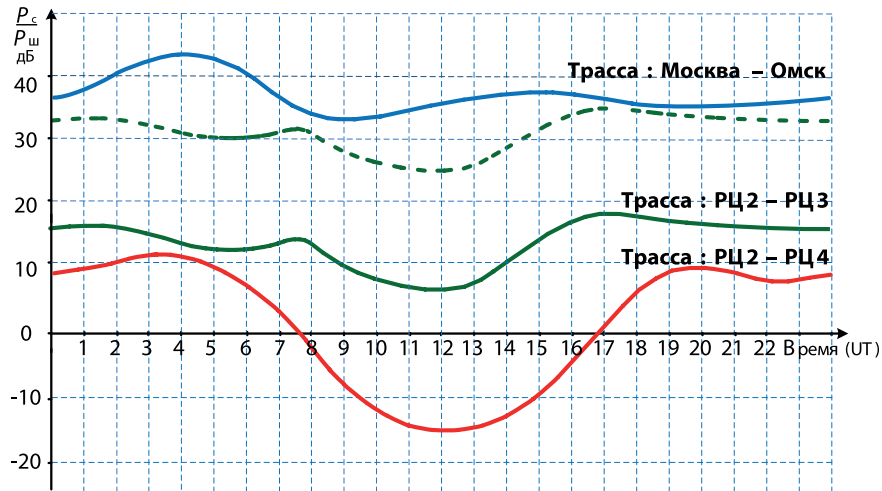


Рис. 8

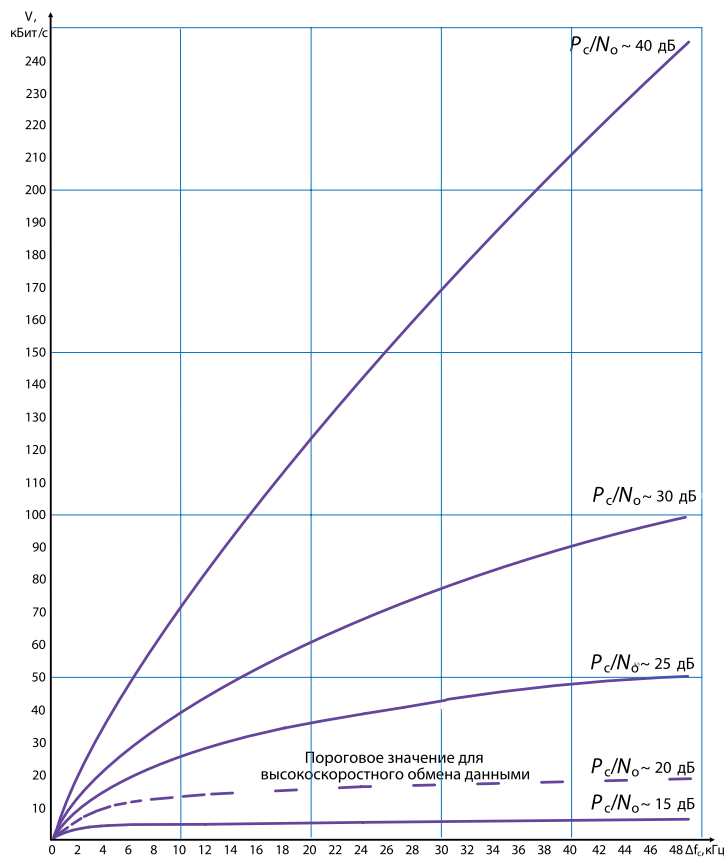


Рис. 9

Примечание. Необходимо отметить, что организация магистральных линий между РЦ, расположенными на взаимном удалении более 3 тыс. км («многоскачковые» радиотрассы) не позволит обеспечить устойчивый круглосуточный обмен данными ввиду малого соотношения $P_c/P_{ш}$, что иллюстрируется графиком на рис. 8 (кривая красного цвета) для радиотрассы протяженностью $d \approx 4500$ км (РЦ2 — РЦ4).

с суммарным коэффициентом усиления $K_{\text{с}}$ не менее 20 дБ. На рис. 10 приведены характерные данные по суточному изменению ОРЧ для трассы Москва — Омск, а на рис. 8 — график расчетных значений $P_{\text{с}}/P_{\text{ш}}$ при «работе» на ОРЧ для указанной радиотрассы и периода испытаний (март 2015 г.) для «опорного» режима передачи $\Delta f = 150$ Гц с использованием направленных логопериодических передающей и приемной антенн и РПДУ с $P_{\text{изл}} \approx 1$ кВт (кривая синего цвета).

Как следует из анализа графиков, отношение сигнал/шум для рассматриваемых условий и времени проведения испытаний достигало $P_{\text{с}}/P_{\text{ш}} \approx 38$ дБ, что потенциально (теоретически) позволяет достичь скорости передачи данных $V \approx 160$ кБит/с при полосе сигнала $\Delta f_{\text{с}} \approx 40$ кГц (см. рис. 9), т. е. полученные АО «ОНИИП» результаты в ходе испытаний не противоречат теоретическим расчетам.

Таким образом, повышение минимального значения $P_{\text{с}}/P_{\text{ш}}$ до 25 дБ и выше относительно «опорного» режима передачи позволит обеспечить высокоскоростной обмен данными даже для сложной радиотрассы (пунктирная кривая зеленого цвета на рис. 8). Такой дополнительный энергетический ресурс может быть реализован за счет применения приемных КФАР и направленных передающих антенн, суммар-

ный коэффициент усиления которых превышает 20 дБ во всем ДКМ диапазоне частот, т. е. даже без использования РПДУ с повышенной мощностью излучения более 5 кВт на «сложной» односкачковой радиотрассе теоретически может быть обеспечена скорость обмена данными $V \geq 60$ кБит/с при $\Delta f_{\text{с}}$ до 40 кГц.

3. Выбор сетевого протокола

Одной из важных задач при создании декаметрового сети связи является разработка протоколов функционирования сети. Практика создания сетей связи показала, что при наличии трафика, не являющегося равномерным во времени (что характерно и для декаметровых систем связи видовых структур) наиболее эффективным методом использования физических каналов сети является их статистическое (логическое) уплотнение. Данный метод реализован в широко известной технологии X.25, на которой построено значительное количество сетей передачи данных с коммутацией пакетов. Отметим, что в США технологией ДКМВ-радиосвязи HFDL (High Frequency Data Link) также предусматривается возможность межсетевое взаимодействия по протоколам коммутации пакетов в соответствии с рекомендациями X.25 МСЭ-Т.

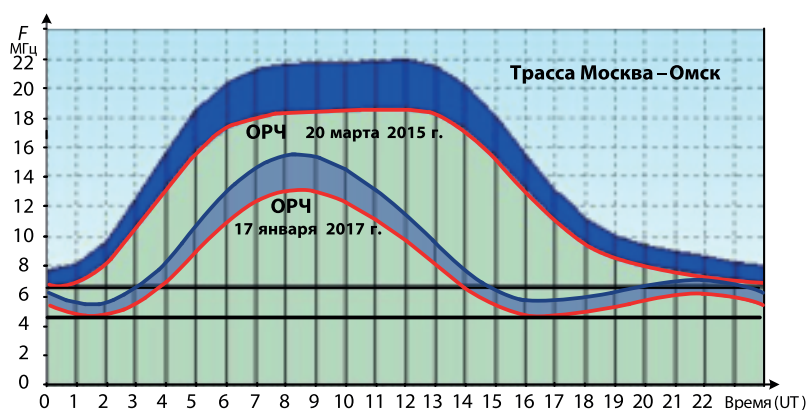


Рис. 10

Примечание:

- 1) Из анализа суточных изменений ОРЧ для трассы Москва — Омск следует, что диапазон работы передающих и приемных антенн с необходимым коэффициентом усиления должен находиться в пределах 4÷18 МГц;
- 2) Из анализа суточных изменений ОРЧ для «односкачковых» межузловых радиотрасс (см. рис. 6) следует, что диапазон работы передающих и приемных антенн с необходимым коэффициентом усиления должен находиться в пределах 2÷25 МГц.

В терминах эталонной модели OSI протокол X.25 относится к первым трем уровням (физическому, канальному и сетевому). В сети, реализующей протокол X.25 обеспечивается: исправление ошибок в пакетах сообщений; управление потоком сообщений; управление сетью связи.

Первоначально протокол X.25 был предназначен для использования в сетях с низкоскоростными каналами (до 9,6 кБит/с), соединяющими узлы сети (аналоговые, телефонные каналы) с высокой вероятностью ошибки (с точки зрения передачи данных) $p_{\text{ош}} \geq 0,5 \cdot 10^{-3}$. Исходя из этого, при создании относительно низкоскоростной ДКМ сети связи целесообразно применение протокола X.25 или его модификации, учитывающей специфику работы адаптивных декаметровых радиолоний, обеспечивающих межузловые соединения, учитывая при этом то, что рассматриваемый протокол может обеспечивать работу сети и при более высоких скоростях, чем 9,6 кБит/с в случае использования соответствующего каналаобразующего и коммутационного оборудования.

Недостатками построения ДКМ сети в рамках протокола X.25 являются возможные значительные задержки по доведению пакетов данных до удаленных узлов сети, а также ограничения по передаче голосовой и видеоинформации, следовательно при предъявлении к сети требований по оказанию перечисленных услуг необходимо ориентироваться на другие сетевые протоколы или разрабатывать новые.

Необходимо отметить, что современные адаптивные радиолонии за счет реализации процедуры взаимного обмена данными и помехоустойчивого кодирования могут обеспечить низкую вероятность ошибки при доведении пакетов сообщений (до $p_{\text{ош}} \leq 10^{-5}$) [19], что позволяет ограничить требования к проверке целостности кадров в узлах коммутации сети, тем самым уменьшить число межузловых запросов-ответов, и, как следствие, снизить время доставки пакета до адресата.

Таким образом, при реализации устойчивого межузлового ДКМ канала со скоростью обмена данными до 56 кБит/с и более возможно воспользоваться технологией Frame Relay (FR), также ориентированной на работу сети с неравномерным во времени трафиком и статистическим уплотнением информации, обеспечивая при этом возможность передачи речи и видеоданных [24, 25].

Недостатком сети с реализацией FR, является «потеря» кадров с пороговым значением ошибок (перезапрос кадра, в отличие от протокола X.25, не производится). Этот факт является значительным ограничением для передачи по сети приоритетных приказов, т. е. для использования в устойчивой ДКМ сети связи возможно применение FR протокола, доработанного в части исключения возможности «потери» элементов передаваемого сообщения. Так для снижения вероятности появления недопустимых задержек пакетов при речевом обмене информацией в протоколе сети следует установить необходимую приоритетность прохождения таких пакетов.

Анализ возможности применения других сетевых протоколов (TCP/IP, ATM и др.) для ДКМ радиосети также показывает наличие в них функций, не полностью соответствующих параметрам и требованиям ДКМ сети связи. Следовательно, окончательное решение по выбору протокола функционирования разрабатываемой ДКМ радиосети должно быть принято по результатам имитационного моделирования с учетом характеристик магистральных ДКМ каналов связи, трафика сети, а также конкретных вариантов ее топологии и схемы взаимодействия РЦ.

Выводы:

1) Прогресс в части создания новых технических средств приемных и передающих радиосредств обусловлен освоением методов цифровой обработки сигналов и высокопроизводительной вычислительной техники, внедрение которых позволяет резко снизить массогабаритные показатели ТС и КТС, их энергопотребление и улучшить вероятностно-временные характеристики трактов доведения информации в целом.

2) Высокореliable обмен данными между ГПО и ПУ может быть обеспечен даже на «сложных» декаметровых радиотрассах при совместном использовании различных методов повышения помехоустойчивости приема (ТРП, ПРП, ФАР, СКК) и современных технических средств российского производства.

3) Практически достигнутая скорость работы отечественных адаптивных модемов на «односкачковых» трассах позволяет реализовать декаметровую сеть связи с услугами по обмену данными и речевыми сообщениями.

ЛИТЕРАТУРА

1. Арсланов Х. А., Абрамович А. В., Лихачев А. М. Концептуальные основы развития Объединенной цифровой автоматизированной системы связи Вооруженных Сил Российской Федерации // Связь в Вооруженных Силах Российской Федерации. — 2014. — С. 18–24.
2. Николашин Ю. Л., Будко П. А., Жолдасов Е. С., Жуков Г. А. Перспективные методы повышения помехоустойчивости декаметровых радиолоний // Научные технологии в космических исследованиях Земли. — 2014, № 1. — С. 30–37.
3. Лазоренко В. С., Ватаф С. А., Панков Д. В. О развитии сетей ведомственной декаметровой радиосвязи с учетом ее значимости при создании системы связи Арктической зоны / Материалы III Международной НТК «Радиотехника, электроника и связь» (РЭИС-2015). Омск. — С. 64–68.
4. Долгополов А. В., Богданов С. А. Эволюция форм и способов ведения вооруженной борьбы в сетевых условиях // Военная мысль № 2. 2011. — С. 49–58.
5. Николашин Ю. Л., Кулешов И. А., Будко П. А., Жолдасов Е. С., Жуков Г. А. SDR радиоустройства и когнитивная радиосвязь в декаметровом диапазоне частот // Научные технологии в космических исследованиях Земли. — 2015, № 1. — С. 20–31.
6. 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.
7. Николашин Ю. Л., Будко П. А., Жуков Г. А. Совместное использование методов повышения помехоустойчивости декаметровых радиолоний // Радиотехника электроника и связь. (Материалы IV Международной НТК. Омск, 15–16.11.2017). — С. 76–85.
8. Прогнозирование распространения радиоволн КВ диапазона и доступности связи на заданных частотах. [Электронный ресурс] URL: <http://www.radian-m.ru/prognoz.php>.
9. Николашин Ю. Л., Будко П. А., Жуков Г. А. Эффективность использования когнитивной радиосвязи в декаметровом диапазоне частот // Техника средств связи. 2018. № 2. С. 6–21.
10. Будко П. А., Жолдасова А. Е., Жолдасов Е. С., Жуков Г. А. и др. Модель тракта доведения информации до объекта по симплексной радиолонии. Патент на полезную модель РФ № 155245 от 02.09.2015.
11. Официальный сайт АО «ОНИИП» / <http://www.oniip.ru/produkcija>.
12. Официальный сайт РИМР / <http://rimr.ru/obsluzhivanie>.
13. Официальный сайт СНИИР / <http://soniir.ru>.
14. Николашин Ю. Л., Мирошников В. И., Будко П. А., Жуков Г. А. Территориально-разнесенный прием информации от глобально-перемещающихся объектов морского базирования // Морская радиоэлектроника. № 4, 2017. — С. 18–23.
15. Николашин Ю. Л., Будко П. А., Жуков Г. А. Нейробионический подход к решению задачи оптимизации приема информации в канале с переменными параметрами // Нейрокомпьютеры: разработка и применение. № 1, 2016. — С. 49–58.
16. Коноплева Е. Н. О расчете надежности радиосвязи на коротких волнах. // Электросвязь. 1967, № 11. — С. 36–38.
17. Николашин Ю. Л., Будко П. А., Жолдасов Е. С., Жуков Г. А. Повышение эффективности декаметровых радиолоний // Телекоммуникации и транспорт (Т-Сотп). № 2, 2015. — С. 4–9.
18. Банников И. М., Березовский В. А., Валеев М. М., Хазан Г. К. Радиоприемные устройства и радиоприемные комплексы перспективных узлов коротковолновой связи / Международная НПК «Радиотехника, электроника и связь, РЭИС-2011», Омск. — С. 121–125.
19. Гук И. И., Путили А. Н., Сиротини 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.
20. Принципы адаптивной радиосвязи, ее достоинства и недостатки. [электронный ресурс] <http://vivalaradio.ru/archives/330>.
21. Пукса Д. О., Романов Ю. В. Результаты трассовых испытаний адаптивной пакетной КВ-радиолонии высокоскоростной передачи данных файлового типа разработки ОАО «ОНИИП» // Радиотехника электроника и связь. (Материалы III Международной НТК. Омск, 6–8. 10. 2015). — С. 186–192.]
22. Барабашов Б. Г., Аншин М. М., Жбанков Г. А., Косогов А. А. Пакет программ прогнозирования характеристик ВЧ-радиоканалов // Радиотехника электроника и связь. (Материалы III Международной НТК. Омск, 6–8. 10. 2015). — С. 106–108.
23. Финк Л. М. Теория передачи дискретных сообщений. — М.: Сов. Радио. 1970. — 728 с.
24. Гольштейн Б. С., Соколов Н. А., Яновский Г. Г. Сети связи: Учебник для ВУЗов. — СПб.: БХВ-Петербург, 2010. — 400 с.
25. Пятибратов А. П., Гудыло Л. П., Кириченко А. А. Вычислительные машины, сети и телекоммуникационные системы. — М.: Издательский центр ЕАОИ. 2009. — 292 с.

В. И. Мирошников

доктор технических наук, профессор, генеральный конструктор ПАО «Интелтех»

В. В. Шевченко

кандидат военных наук, доцент, начальник лаборатории ПАО «Интелтех»

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОПЫТА ОРГАНИЗАЦИИ СВЯЗИ В НАЧАЛЬНЫЙ ПЕРИОД ВЕЛИКОЙ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ВОЙНЫ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

АННОТАЦИЯ. На основе анализа состояния войск связи Красной Армии в начальный период Великой Отечественной войны проведено теоретическое обобщение вопросов организации связи, выявлены принципы построения систем и сетей связи, имеющие важное значение для решения практических задач по подготовке Вооруженных Сил Российской Федерации.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Великая Отечественная война, начальный период войны, принципы организации связи, радиосвязь, связь взаимодействия.

Введение

Опыт двух мировых войн показал, что по мере развития средств вооруженной борьбы все больше увеличивается роль операций начального периода войны (НПВ).

Начальный период войны — это такой временной отрезок, в течение которого каждая из воюющих сторон стремилась достичь своих ближайших стратегических целей.

Во второй мировой войне роль операций начального периода значительно возросла. Фашистской Германии оказалось достаточно провести лишь по одной стратегической операции, чтобы разгромить армии таких государств, как Польша, Норвегия, Югославия. Разгром Франции, Бельгии и Голландии потребовал проведения двух последовательных стратегических операций.

Характерными чертами операций немецко-фашистской армии, которая еще до начала войны проводила полное отмотивирование войск, сосредоточение и развертывание глав-

ных сил, являлись мощные удары авиации и сухопутных сил с участием крупных группировок танковых войск, осуществлявшиеся с целью нанести поражение противнику, прежде чем он успеет мобилизовать, сосредоточить и развернуть свои вооруженные силы.

Для стран подвергшихся нападению агрессора, основным содержанием начального периода войны было ведение оборонительных операций в сложной обстановке, когда противник имел крупное превосходство в силах на земле, на море, в воздухе и проведение мобилизационных мероприятий.

История знает примеры одноактных, кратковременных войн, в которых начальный период войны отсутствовал.

Теоретическое обобщение вопросов организации связи в начальный период войны, выявление принципов построения систем и сетей связи имеют важное значение для решения практических задач по подготовке Вооруженных Сил Российской Федерации.

Войска связи Красной Армии в начальный период войны

Оперативно-стратегическая обстановка, сложившаяся на фронте в начале войны, создала трудные условия для обеспечения непрерывного управления войсками. Части связи округов, армий и дивизий содержались по штату мирного времени. Их развертывание до полного штата предполагалось произвести в период от мобилизации. В результате того, что война для Красной Армии началась без мобилизационного периода, штабы фронтов и армий *вступили в сражение с ограниченными силами и средствами связи.*

Так, линейные и линейно-эксплуатационные части фронтов и армий отсутствовали, окружные и армейские полки и батальоны связи имели неполный комплект личного состава, средств и транспорта. Отмобилизовать части связи приграничным Белорусскому, Прибалтийскому, Киевскому и Одесскому военным округам не удалось. Начальник штаба Западного фронта генерал-лейтенант Г. К. Маландин 2 июля 1941 года докладывал Начальнику Генерального штаба: «Части связи Западного фронта не отмобилизовались, о чем донесено начальнику связи Красной Армии 29.06.1941 г. за № 45. Части связи 3, 4 и 13-й армий имеют потери от 50 до 100 %» [1].

Использование для связи общегосударственной сети постоянных воздушных линий связи было затруднено действиями авиации противника, господствовавшей в воздухе и регулярно выводившей ее из строя.

Отсутствие линейных и линейно-эксплуатационных частей во фронтах и армиях исключало возможность восстановления разрушенных линий в короткие сроки. Поэтому в этих условиях основная тяжесть по обеспечению управления войсками легла на радиосвязь, которая ни организационно, ни материально не была подготовлена к выполнению такой задачи [2].

В начале войны штаб Западного фронта находился в Минске. В 200 км от него, в районе Волковыска, был оборудован полевой пункт управления с небольшим узлом связи (УС). Начальник связи фронта получил задачу — выехать на полевой командный пункт (КП) со средствами связи 36-го отдельного полка связи и развернуть средства связи для обеспечения управления войсками фронта. Пока полк свя-

зи следовал к месту развертывания, обстановка резко изменилась. На этом направлении начали развиваться наступление немецко-фашистские войска. Перемещение штаба фронта в район Волковыска стало нецелесообразным. Командующий Западным фронтом генерал армии Павлов Д. Г. изменил решение о перемещении штаба в этот район и потребовал возвратить полк связи обратно в Минск. Связисты полка в тяжелых условиях преодолели еще 200 км пути и только после этого приступили к обеспечению связи в Минске.

Отсутствие ремонтно-восстановительных частей связи, поспешное решение о перемещении КП в новый район, фактически бесполезный 400-километровый марш полка связи в условиях воздействия противника с воздуха и отсутствие в штабе фронта в самый ответственный момент начальника связи отрицательно сказались на работе связи и управлении войсками.

В штаб фронта поступали отрывочные данные о противнике. Штабы армий, корпусов и дивизий, приступившие к выполнению оперативных планов, находились в движении в назначенные им районы. В этих условиях было чрезвычайно трудно обеспечить управление войсками и поддерживать устойчивую связь. Работа средств радиосвязи на передачу с целью скрытия местоположения в период сосредоточения запрещалась [3].

Проводная связь Западного фронта (рис. 1) с подчиненными войсками была восстановлена лишь к 4 июля 1941 г. после перемещения КП в Гнездилово.

Не лучше было организовано управление и связь в армейском звене. Так, начало войны застало штаб 13-й армии и его отдельный батальон связи самостоятельно следовавшими эшелонами в район Новогрудок. В мирное время там был оборудован командный пункт. По прибытии в Минск штаб армии был направлен в Молодечно с задачей принять на себя управление подходящими соединениями второго эшелона фронта, хотя батальон связи по-прежнему следовал в Новогрудки. Начальник связи армии полковник И. Ф. Ахременко, с большим опозданием узнав об этом, направил батальон связи для выполнения задачи в район Молодечно [2].

Штаб 13-й армии прибыл к новому месту 23 июня. Район расположения не был подготовлен в отношении связи. Радиосредства не

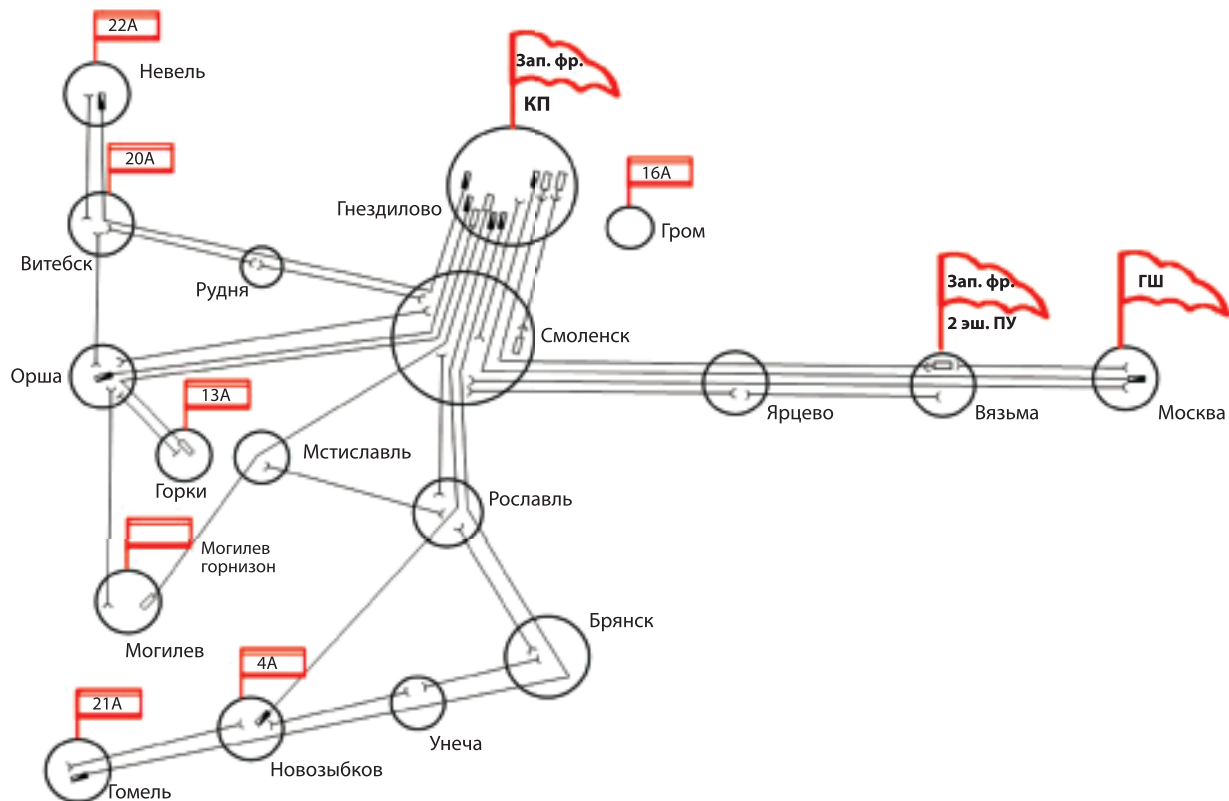


Рис. 1. Схема проводной связи Западного фронта на 4.07.1941 г.

могли использовать, т. к. отсутствовали радиоданные [4]. В первое время боевые приказы и радиоданные в подчиненные соединения и части доставлялись офицерами связи. Только через 2 суток удалось установить радиосвязь с 21-м стрелковым корпусом (*ск*), 50-й стрелковой дивизией (*сд*) и 84-м полком НКВД.

Однако вскоре штаб армии вынужден был передислоцироваться в район Городка. Без боевого охранения, разведки, штаб армии оказался под огнем противника. 675-й отдельный батальон связи (*обс*), защищая штаб армии, потерял 75% личного состава и почти все имущество связи. Удалось спасти несколько радиостанций и секретные документы отдела связи. После боя остатки штаба армии и батальона связи отошли в район Ждановичей. И только тогда начальник связи армии силами 675 *обс* смог установить радио- и проводную связь со штабами 44-го и 20-го *ск*. Радиосвязь с корпусами и дивизиями поддерживалась с помощью одной радиостанции, а проводная связь — только со штабом 44 *ск*. Проводная связь со штабом Западного фронта отсутствовала, так

как магистральные проводные линии связи вокруг Минска были разрушены и восстановлены только 30 июня.

Командиры всех звеньев управления в мирное время привыкли к проводной связи. Она не требовала кодирования и декодирования текста и предпочитали ее радиосвязи так, как не умели работать на радиостанциях с соблюдением правил скрытого управления войсками.

Следует особо подчеркнуть, что немецко-фашистская армия в начальный период войны как на полях сражений в Европе, так и в войне с Советским Союзом для срыва управления войсками и нарушения работы линий связи широко применяла диверсионно-разведывательные группы. В распоряжение наших войск было сброшено на парашютах много мелких диверсионных групп численностью по 5–7 человек [5]. К сожалению, опыт применения таких групп в Европе в Красной армии не учитывался.

Тяжелая обстановка для управления и связи с началом войны складывалась и на других фронтах, в том числе при обороне военно-морских баз.

Примером может служить оборона Либавской военно-морской базы (ВМБ). Перед базой были поставлены следующие задачи: оборона с моря и воздуха, поддержание оперативного режима и защита морских коммуникаций в своей операционной зоне, обеспечение базирования кораблей, авиации и частей флота.

Наиболее слабым местом в системе управления силами базы и взаимодействующей 67 стрелковой дивизии являлась организация связи [6].

Если имевшиеся средства связи ВМБ ещё могли обеспечить управление флотскими частями и подразделениями, то средства связи в 67-й *сд* были крайне ограничены. Практически вся проводная связь в стрелковой дивизии осуществлялась за счет использования линий связи Либавской ВМБ. При этом, в первую очередь, широко применялись как воздушные линии связи, так и подручные средства — колючая проволока и др. Проводная связь была организована по направлениям. С некоторыми частями она обеспечивалась по одной линии (56-й стрелковый полк, отдельный артиллерийский дивизион, 281-й стрелковый полк, отряд моряков, отряд училища ПВО). Все линии связи были однопроводными. В результате воздушного и артиллерийского воздействия противника проводная связь выходила из строя. Большая нагрузка по управлению войсками и силами базы легла на радио. Суточный обмен доходил до 300 радиogramм. Радиостанции непрерывно работали по 14–15 часов.

И совсем по-другому — достойно решались вопросы организации обороны, управления и связи, при их *заблаговременной подготовке*.

Оборона ВМБ на острове Ханко вошла в историю как героическая страница боевых дел Балтийского флота. ВМБ Ханко, была создана на арендованном у Финляндии полуострове в северо-западной части Финского залива, занимала выгодное оперативно-стратегическое положение на театре и имела исключительно важное значение для обороны дальних морских подступов к Ленинграду.

Командные пункты ВМБ и сектора береговой обороны были совмещены. Ханко была единственной базой флота, имевшей защищенные пункты управления. Средства связи пунктов управления были расположены в подземных сооружениях. На островах, где находились посты наблюдения и связи, если не было подводного кабеля, прокладывался полевой кабель, предварительно пропитанный озокеритом.

Проводная связь ВМБ была разветвленной, широко использовались кабельные линии связи. Проводная связь командного пункта (КП) ВМБ с КП 8-й отдельной стрелковой бригады и со всеми частями и подразделениями организовывалась по направлениям, а с некоторыми из них — через ближайшие узлы связи.

Радиосвязь была организована по радионаправлениям с Главным морским штабом, штабом Ленинградского фронта, запасным КП Краснознаменного Балтийского флота (КБФ) и КП 8-й отдельной стрелковой бригады. Кроме радионаправлений создавалось несколько радиосетей: ВМБ, сектора береговой обороны, ПВО базы. Радиосвязь КП 8-й отдельной стрелковой бригады осуществлялась со всеми подчиненными частями по радиосети. Схема радиосвязи ВМБ Ханко представлена на рис. 2.



Рис. 2. Схема радиосвязи ВМБ Ханко в 1941 г. [6]

В целом система связи обеспечивала управление силами базы и стрелковой бригады в ходе боевых действий.

Особо необходимо подчеркнуть важность радиосвязи на флоте. Это был основной род связи. Корабли ВМФ были оснащены радиостанциями в отличие от танков и самолетов. Радиисты имели хорошую подготовку. Радиобоязни у радистов ВМФ не было. Поэтому, благодаря хорошо отлаженной работе радиосредств на флоте, не было таких потерь, как в авиации.

Анализ опыта организации связи во фронтовых и армейских оборонительных операциях начального периода войны, обороне ВМБ, оборонительных операциях проводимых в предвидении контрнаступления в битве под Москвой, Курском, в Балатонской оборонительной операции [7], позволил выявить следующие принципы и подходы в организации связи:

1) Широкое использование линий связи Народного комиссара связи (НКС) и местных средств связи.

2) Создание и поддержание необходимого резерва средств связи.

3) Организация самых необходимых жизненно важных связей.

4) Организация связи взаимодействия средствами того соединения или объединения, которое имеет большую степень укомплектованности.

5) Организация связи с наименьшим расходом сил и средств.

6) Постоянный контроль и охрана проводных линий связи.

7) Маневр силами и средствами связи в ходе операции.

8) Широкое использование для доставки боевых документов офицеров связи на самолетах, посыльных на авто и мотосредствах.

Как же учитывается этот опыт для построения сетей связи, организации связи в настоящее время и как лучше его использовать?

1. Использование линий и узлов связи государственной стационарной сети связи, ресурса операторов связи (по терминологии Великой Отечественной войны — широкое использование линий Народного комиссара связи) и местных средств связи

В настоящее время от 80 до 90% возможностей стационарной сети связи МО РФ составляет телекоммуникационный ресурс, арендован-

ный у операторов связи. Ведущими операторами связи в России являются ПАО «Ростелеком», АО «Компания ТрансТелеКом», ПАО «Мегафон», ПАО «МТС», ПАО «ВымпелКом» и ПАО «Теле 2 Россия».

Транспортная часть региональной мультисервисной сети связи МО РФ в настоящее время, представлена в виде наложенной сети на ресурс операторов связи Единой сети электросвязи (ЕСЭ) РФ со значительной долей (до 95%) аренды VPN-соединений.

Стационарная телекоммуникационная сеть МО РФ построена по иерархическому принципу в соответствии с действующей системой управления ВС РФ. Центральным узлом связи (УС) является УС Генерального Штаба (ГШ). От него организованы связи с узлами видов ВС РФ и родов войск, объединенных стратегических командований (ОСК) и флотов. От них в свою очередь к УС подчиненных соединений и частей.

Следует также отметить, что существующая телекоммуникационная инфраструктура региональной сети связи общего пользования (ССОП) распределена неравномерно, в основном сосредоточена в районах мегаполисов. Низкая разветвленность и устойчивость сетей операторов осложняет их использование в условиях ведения военных действий и чрезвычайных ситуаций. Особо остро стоит проблема арктического стратегического направления. Не способствуют решению проблем и ограниченные возможности операторов и войск связи по восстановлению вышедших из строя линий связи ССОП. Недостаточно защищенных сетевых узлов операторов с требуемой для военного времени защитой.

Серьезную обеспокоенность относительно обеспечения информационной безопасности вызывает наличие на сетях связи оборудования иностранного производства, а также снижение доли присутствия в бизнесе государственных структур, участие в телекоммуникационном секторе иностранного капитала.

Основным арендодателем телекоммуникационного ресурса для силовых структур является ПАО «Ростелеком». Это российская телекоммуникационная компания с преимущественно государственным участием. Она предоставляет услуги местной и дальней телефонной связи, широкополосного доступа в Интернет, интерактивного телевидения, сотовой связи, аренды каналов. Сеть связи ПАО «Ростелеком» состоит

из магистральных линий связи, соединенных через транзитные междугородные и международные узлы связи (ТМгУС и ТМнУС) с сетями национальных и зарубежных операторов. Сеть имеет свыше 350 точек доступа в России и за рубежом. Имеет прямые стыки со 190 сетями в 70 странах. Оператор имеет договорные отношения с более чем 2300 национальными и международными операторами фиксированной и мобильной связи. Протяженность сети магистральной связи этого оператора составляет более 500 тыс. км, построенная на основе ВОЛС с использованием SDH- и DWDM-технологий, а также зоновые и местные сети, протяженностью свыше 2,6 млн км, обеспечивают полное покрытие территории Российской Федерации и передачу любого типа информации: голоса, данных, видео.

На сетях ПАО «Ростелеком» более 50% оборудования иностранного происхождения. На магистральных сетях отечественного оборудования не имеется. Стоит оборудование компаний Huawei, Alkatel, Nokia, Djuniper и других производителей. Арендованные каналы для МО РФ на 80% состоят из иностранного оборудования. Гарантии их устойчивой работы нет, сеть просто может быть выключена... не по причине того, что международная, а потому, что не прозрачна для оператора система управления сетью и ее оборудованием.

Кроме этого, как отмечалось на научно-технической конференции в Военной академии связи в 2017 г. «Современное состояние и перспективы развития транспортных сетей связи специального назначения», получить для МО РФ канал связи ПАО «Ростелеком» на стратегическом направлении не так просто, могут быть сложности.

Запланированное в рамках создания интегрированной сети связи строительство собственных магистральных ВОЛС требует больших капиталовложений, что в создавшихся политико-экономических условиях может рассматриваться как долгосрочная перспектива, поэтому основу стационарной составляющей сети связи МО РФ будет по-прежнему составлять ресурс операторов связи.

Поэтому очень важная, стратегическая проблема использования современных волоконно-оптических линий операторов связи Министерством обороны России в особый период остается нерешенной. Магистральные линии связи для МО РФ должен строить и эксплуа-

тировать доверенный оператор связи, которым является ПАО «Ростелеком», на отечественном оборудовании.

2. Создание и поддержание необходимого резерва средств связи

Резерв сил и средств связи предназначается для решения внезапно возникающих задач по организации связи и подразделяется на резерв начальника связи (объединений, соединений) и резервы командиров частей и подразделений (связи, разведки, РВиА, ПВО...).

Исследованием установлено [7], что в годы Великой Отечественной войны в армии, преднамеренно перешедшей к обороне, резерв начальника связи составлял в среднем 26% от имеющихся в наличии радиосредств и колебался от 7% в 70-й армии в Курской битве до 50% в 26-й армии в Балатонской оборонительной операции. Резерв кабельно-шестовых средств у начальника связи армии в среднем составлял 29% и колебался от 14% в 57 армии в Балатонской оборонительной операции до 70% в 69 армии в Курской битве. Такой большой резерв кабельно-шестовых средств, а соответственно и подразделений в 69-й армии удалось создать за счет замены полевых линий связи постоянными линиями, использования местных и трофейных линий связи.

Резерв средств связи необходим для восполнения вышедшей из строя техники связи в результате воздействия огневых и технических средств противника.

По современным взглядам военных специалистов при применении обычных средств поражения за сутки операции возможен выход из строя около 10% штатных средств связи. К концу операции комплект средств связи объединения или соединения может сократиться на 70%. Организация связи будет осуществляться ограниченным количеством средств связи и будут обеспечиваться самые необходимые связи. А при применении ядерного оружия в современных операциях среднесуточные потери средств связи могут составить около 80%.

Для поддержания управления войсками и силами необходимо иметь резерв средств каждому начальнику связи. А учитывая сложность современных сетей связи и то, что оборудование сетей может предоставлять все услуги связи либо, в случае повреждения — никаких услуг, роль резерва средств связи еще больше возрастает.

Классического подхода, при котором каждый начальник связи имеет 10 % средств связи в резерве становится явно недостаточным. По всей видимости, с учетом опыта войны, резерв должен составлять не менее *30% от штатных средств*. Чтобы в случае полного нарушения существующей сети связи, можно было совершить маневр резервными силами и средствами и развернуть новую систему связи.

При этом необходимо учитывать, что резерв надо консервировать, содержать. В мирное время его необходимо рассредоточить по операционным направлениям. Можно создать и мобильные запасы, но тогда необходимо решить вопрос, кто и как будет заниматься передислокацией. Такой подход актуален для ОСК «Север». Для этого необходим обученный персонал, который нужно заранее готовить в учебных центрах каждого ОСК и учитывать всю специфику предстоящих боевых действий.

На государственном уровне должен решаться вопрос восполнения потерянных средств связи промышленностью. Военно-промышленный комплекс в сжатые сроки обязан восполнять потери техники связи и обеспечивать потребности Вооруженных Сил. Поэтому срок производства аппаратных средств связи должен быть $1 \div 2$, но никак не $6 \div 9$ месяцев. В современной войне победит тот, кто сможет быстрее и больше производить оборудования.

3. Организация самых необходимых жизненно важных связей

В годы Великой Отечественной войны в установлении связи сложилась следующая очередность. В первую очередь обеспечивалась связь командующего армией с командующим и штабом фронта, во вторую очередь с соединениями на направлении главного удара противника, затем с другими соединениями, тыловыми частями, соединениями других родов войск и взаимодействующими соединениями и частями. Например, по прибытии КП 16-й армии в район Сходня в первую очередь была установлена проводная связь с командующим Западным фронтом [7].

В условиях крайне ограниченного количества радиосредств, когда радиосвязь не могла быть организована со всеми элементами оперативного построения, они переводились в разряд личных (командующего армией). Когда в бит-

ве под Москвой в 1-й ударной армии осталось две радиостанции РСБ и 5АК, то каждая из них обеспечивала связь соответственно от УС КП и УС вспомогательного пункта управления (ВПУ) как личная радиостанция командующего армией. При этом радиосвязь была организована в первую очередь со штабом Западного фронта, во вторую очередь со стрелковыми бригадами на направлении сосредоточения усилий.

В современных условиях принцип организации самых необходимых жизненно важных связей предполагает организацию устойчивой связи в первую очередь с основными элементами оперативного построения или боевого порядка. К ним относятся такие части и подразделения, которые представляют основную ударную мощь.

С пунктами управления стратегических и оперативных объединений и соединений, пусковыми установками РВСН, подводными лодками, стратегическими авиационными средствами связь должна быть организована такими средствами и такими способами, чтобы обеспечивалось непрерывное устойчивое и надежное управления боевыми средствами.

Для организации устойчивой связи с основными элементами оперативного построения или боевого порядка необходимо создание нескольких обходных направлений связи различных родов — по проводным или волоконно-оптическим линиям связи (ВОЛС), спутниковым, радиорелейным или тропосферным либо наличие нескольких радиоканалов в различных диапазонах частот.

Анализ устойчивости направлений связи в годы войны и способы ее повышения [7] позволили сделать вывод, что она значительно возросла с организацией нескольких обходов. С учетом воздействия всех поражающих факторов, наличие на направлении связи трех и более обходов позволяло добиться коэффициента исправного действия почти равным единице.

4. Организация связи взаимодействия средствами того соединения или объединения, которое имеет большую степень укомплектованности

Принцип ответственности за организацию связи взаимодействия, который действует и настоящее время, следующий [9].

Ответственность за установление и поддержание связи между взаимодействующими частями (подразделениями) возлагается на:

за связь по фронту — на правого соседа;

за связь от тыла к фронту — на штаб части (подразделения), находящегося во втором эшелоне или резерве;

за связь между общевойсковыми частями и частями видов Вооруженных Сил и родов войск — на штабы частей видов Вооруженных Сил и родов войск:

за связь между общевойсковыми частями и частями (подразделениями) специальных войск — на штабы общевойсковых частей.

Например, если в первом эшелоне мотострелкового полка (*мсп*) наступают два батальона, то за связь взаимодействия между ними несет ответственность штаб батальона, наступающего справа. За связь с батальоном, наступающим в первом эшелоне и батальоном, находящимся в резерве — штаб батальона, находящегося в резерве. За связь между мотострелковым и зенитно-ракетным полком — штаб зенитно-ракетного полка, а за связь между мотострелковым полком и ротой химической защиты дивизии несет ответственность штаб *мсп*.

Принцип ответственности за выделение средств для связи взаимодействия следующий.

Связь взаимодействия между частями (подразделениями) по фронту и от тыла к фронту устанавливается:

радио- и радиорелейная — средствами каждого из взаимодействующих частей (подразделений);

проводными и подвижными средствами — средствами правого соседа и средствами части (подразделения), находящимися во втором эшелоне (резерве).

Связь взаимодействия между частями (подразделениями), действующими навстречу друг другу устанавливается средствами каждого из взаимодействующих штабов.

Опыт организации связи взаимодействия в НПВ показал, что часто связь проводными и подвижными средствами организовывалась силами тех частей и подразделений, которые имели большую укомплектованность. Как мог 675-й отдельный батальон связи 13 армии, потерявший в НПВ 75% личного состава и почти все имущество связи еще организовывать проводную связь с соседом справа? Для этого он не имел ни сил, ни средств. Поэтому связь взаи-

модействия с соседями организовывалась через УС вышестоящего штаба и средствами того соединения или объединения, которое имело большую степень укомплектованности.

5. Организация связи с наименьшим расходом сил и средств

Принцип организации связи с наименьшим расходом сил и средств предполагает целесообразное экономное использование штатных средств связи. Вывод незадействованных средств связи в резерв, который как показывает анализ, должен составлять не менее 30% имеющихся средств связи.

Для экономии использования штатных средств широко используются местные ресурсы связи. Стационарная сеть связи в битве под Москвой составляла основу системы связи в отдельных армиях. Например, в 33-й армии стационарная часть составляла 60 ÷ 70% всей системы связи армии [7]. Управление войсками 50-й армии при обороне г. Тула осуществлялось с использованием телеграфных и телефонных станций города, местных линий связи. Без опоры на них при общей укомплектованности армии средствами связи на 30 ÷ 40%, устойчивого управления войсками достичь было невозможно.

Этот принцип предполагает объединение и укрупнение радиосетей командования и штабов, родов войск. Создание, например одной радиосети управления тылом соединения, вместо радиосетей медицинского, тылового и технического обеспечения.

Уменьшение расхода сил и средств дает переход на организацию радиосвязи по радиосетям, вместо радионаправлений.

Осуществление взаимодействия между объединениями и соединениями, частями путем вхождения радиостанций в сети командования вместо организации отдельных радиосетей взаимодействия и постоянного дежурства радиостов в них также позволит сэкономить силы и средства связи.

6. Постоянный контроль и охрана проводных линий связи

В годы Великой Отечественной войны полевою часть проводной сети составляли проводные узлы связи, оси, рокады, направления

связи, вспомогательные узлы связи (ВУСы), контрольно измерительные пункты (КИПы), контрольно-телефонные станции (КТС) и линии привязки (шлейфы).

Особо хочется подчеркнуть роль КТС. Они применялись для контроля за исправностью линий связи. Их развертывали телеграфно-эксплуатационные роты. КТС располагались в среднем на расстоянии $6 \div 7$ км, с таким расчетом, чтобы личный состав поста мог достигать крайнего пункта своего участка не более чем за 30 минут и устранять нарушения и обрывы проводных линий связи. По мере приближения к линии фронта расстояние между КТС сокращалось до 500 м. КТС размещались в блиндажах и землянках. Анализ архивных материалов показал, что количество КТС на линиях связи постоянно возрастало. Если в первом периоде войны их в среднем было $5 \div 7$, то в третьем периоде войны — $25 \div 30$.

В настоящее время опыт охраны и постоянного контроля проводных линий связи утрачен.

Мониторинг состояния кабельных линий связи осуществляется. При обрывах на линиях связи выезжают ремонтные бригады. Поэтому время на восстановление поврежденных линий связи исчисляется часами.

7. Маневр силами и средствами связи в ходе операции

Наиболее широкое применение этот принцип получал, когда комплект войск связи оставался неизменным, а количество корпусов в армии доходило до $5 \div 7$.

В этих случаях начальник связи армии закреплял за соединением не штатную отдельную кабельно-шестовую роту (*окшр*), а один-полтора взвода, увеличивая тем самым нагрузку на подразделения связи. Такой подход применялся и в организации связи с теми корпусами, которые составляли второй эшелон или находились в резерве. То есть часть подразделений связи временно изымалась из состава направленных частей и отдавалась на усиление тех частей связи, которые выполняли задачи на направлении главного удара или сосредоточении усилий. Таким образом, на направлении сосредоточения основных усилий за корпусом закреплялась усиленная (с увеличенным штатом) *окшр*.

Особенно часто проводился маневр радиостанциями малой мощности.

Так, при отсутствии во фронтах и армиях необходимого количества радиостанций средней мощности в звеньях фронт — армия, армия — дивизия (корпус) для организации радиосвязи широко применялись радиостанции малой мощности типа РБ, РБМ, «Север», «Прима». Особенно широкое применение радиостанции малой мощности получили после приказов Ставки № 0017 и № 00109 (1942 г).

В Великой Отечественной войне радиостанции малой мощности нередко были единственным средством связи с общевойсковыми соединениями (частями), авиадесантными и другими отрядами находившимися в тылу или в окружении. Радиостанции малой мощности обеспечивали связь штабов во время бездорожья, когда автомобильные радиостанции не могли продвигаться за своими штабами и отставали. В обороне, штабы фронтов поддерживали радиосвязь со штабами армий и штабы армий — со штабами дивизий, корпусов иногда исключительно маломощными радиостанциями (радиостанции средней мощности или отсутствовали или находились в резерве).

Принцип маневра силами и средствами связи в ходе операции является актуальным и в настоящее время. Его необходимо применять во всех звеньях управления и видах операций или боевых действий, при ведении операций и контртеррористических операций межвидовыми и разнородными группировками.

8. Широкое использование для доставки боевых документов офицеров связи на самолетах, посыльных на авто и мотосредствах

В начальном периоде войны основными подвижными средствами связи были самолеты, конные посыльные, а в зимнее время — лыжники. Автомобильные средства практически отсутствовали в результате потерь и невозможности их своевременного отмотилизования и восстановления [7].

По штату в армии для доставки боевых документов и офицеров связи в войска была создана отдельная авиационная эскадрилья связи, насчитывающая 12 самолетов. Реально в объединениях было от 2 до 6 самолетов связи.

Самолеты связи являлись основными подвижными средствами связи между пунктами управления фронта и армии. Они применялись также для связи между командными пунктами армии и корпусов, наиболее удаленных дивизий и с соседними армиями. Длина маршрутов самолетов связи составляла от 50 до 200 км.

Широкое применение самолеты связи находили в контрнаступательных и наступательных операциях, в условиях перегруженности и непроходимости дорог. В отдельных операциях самолеты связи доставляли до 50 % боевых документов, реализованных подвижными средствами.

К сожалению, в настоящее время опыт применения самолетов связи утерян. По штату авиационных средств связи в объединениях нет. Однако, в военное время без этих средств в условиях завалов, бездорожья, зараженной местности, значительного огневого и радиоэлектронного противодействия не обойтись.

В современных условиях частично доставку сообщений в сложной боевой обстановке будут решать беспилотные летательные аппараты связи или беспилотные плавающие средства.

Выводы

В начальный период Великой Отечественной войны в ходе оборонительных операций в результате понесенных потерь и неполного комплекта частей и подразделений, как правило, связь организовывалась ограниченным количеством сил и средств.

При организации связи в оборонительных операциях ограниченными силами и средствами необходимо осуществлять следующие мероприятия:

использовать линии и узлы связи государственной стационарной сети связи, ресурс операторов связи;

создавать и поддерживать необходимый резерв сил и средств связи;

организовывать самые необходимые жизненно важные связи с основными элементами оперативного построения или боевых порядков;

осуществлять постоянный контроль и охрану проводных, волоконно-оптических, радиорелейных и других линий связи;

широко использовать для доставки боевых документов беспилотные летательные аппараты связи или беспилотные плавающие средства, самолеты и вертолеты связи, посыльных на авто и мотосредствах.

ЛИТЕРАТУРА

1. ЦАМО РФ, ф. 208, оп. 2617, д. 9, л. 4, 48.
2. Туровский П.П., Брежнев И.А., Зайцев В.П. История военной связи. Т. 3/1. — М.: Воениздат, 1989.— 319 с.
3. Брежнев И.А., Зайцев В.П., Михалевич Н.И. Развитие советского военного искусства и войск связи в первом периоде Великой Отечественной войны. — Л.: Военная ордена Ленина Краснознаменная академия связи, 1971.— 119 с.
4. ЦАМО РФ, ф. 361, оп. 36721, д. 1, л. 23—26.
5. Шевченко В.В., Первомайских А.Н. Организация связи в армейской оборонительной операции начального периода войны (по опыту 5-й армии Юго-Западного фронта). — СПб.: Военная ордена Ленина Краснознаменная академия связи имени С. М. Буденного, 1992.— 24 с.
6. Дворянов Е.Я. Управление войсками и силами флота в совместных действиях на приморских направлениях по опыту Великой Отечественной войны. — Л.: Военная ордена Ленина Краснознаменная академия связи имени С. М. Буденного, 1990.— 379 с.
7. Шевченко В.В. Организация связи в армейских оборонительных операциях, проводимых в предвидении контрнаступления по опыту Великой Отечественной войны: дис. ... канд. воен. наук. — СПб., 1993.— 302 с.
8. Савицкий О.К. АО «Воентелеком» создает оборудование нового поколения. Тематический сборник. Связь в Вооруженных Силах Российской Федерации — 2016. — М., 2016.— 220 с.
9. Принципы организации связи для взаимодействия войск. Режим доступа <https://studfiles.net/>.

И. А. Кулешов

кандидат военных наук, доцент, заместитель генерального директора по научной работе, ПАО «Интелтех»

С. А. Солозобов

кандидат военных наук, доцент, начальник НИО, ПАО «Интелтех»

Ю. Ф. Махортов

заместитель начальника НИО — начальник отдела, ПАО «Интелтех»

В. В. Шевченко

кандидат военных наук, доцент, начальник лаборатории ПАО «Интелтех»

АНАЛИЗ ОПЫТА СТРОИТЕЛЬСТВА ТРОПОСФЕРНЫХ РАДИОЛИНИЙ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО СОЗДАНИЮ СЕТИ ТРОПОСФЕРНОЙ РАДИОСВЯЗИ В АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

АННОТАЦИЯ. Представлен анализ существующего опыта строительства тропосферных радиолоний, на основании которого сформулированы предложения по созданию сети тропосферной радиосвязи в арктической зоне Российской Федерации. Исследования распространения волн дециметрового диапазона в условиях Арктики показали возможность увеличения расстояния между ретрансляционными станциями тропосферных линий более 1000 км.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Арктическая зона, тропосферная связь, спутниковая связь, радиорелейная связь, сверхдальнее распространение радиоволн.

Введение

Арктическая зона России относится к числу немногих регионов мира, где имеются практически нетронутые запасы нефти, газа и минерального сырья (30 % мировых запасов). Прилегающие к России Арктические территории требуют защиты. В настоящее время в Арктике построены базы в г. Североморске, на архипелаге Новая Земля (Рогачево), на островах Земля Александры (Нагурское), Среднем архипелаге Северная Земля, Котельном, Врангеля и на мысе Шмидта. Строятся базы — в Нарьян-Маре, Тикси, Норильске. Надежное управление объектами и структурами в Арктике требует современной постоянно действующей связи.

1. Опыт организации связи в Арктике

Связь в Арктике всегда была проблематичной в связи с географическими и климатическими условиями. Прокладка кабельных и волоконно-оптических линий сопряжена с большими трудностями. Радиосвязь на коротких волнах в высокоширотной зоне по причине частых магнитных бурь в авроральной зоне характеризуется высокой нестабильностью.

Спутниковая связь с геостационарной орбиты возможна до 75° с. ш. В высокоширотной зоне связь обеспечат только спутники на высокоэллиптической орбите (ВЭО). К тому же в условиях военных действий спутники связи могут быть легко уничтожены.

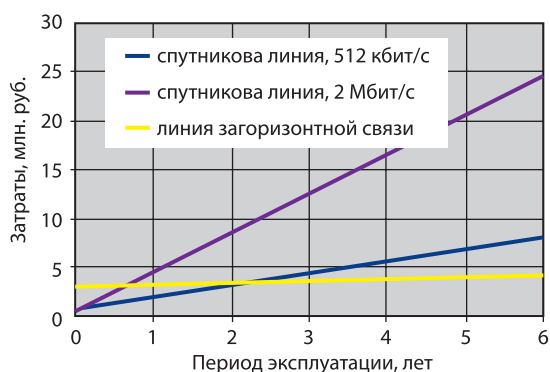


Рис. 1. Расчеты затрат на спутниковые и тропосферные линии связи

Радиорелейная связь применяется, как правило, на интервалах 40–50 км. На радиорелейных станциях можно строить протяженные многоканальные линии связи.

Тропосферные средства связи в Арктике занимают наиболее выигрышное положение. Типичные расстояния между станциями составляют 100–250 км, хотя могут быть достигнуты большие расстояния в зависимости от местности, требуемой скорости передачи данных и энергетических характеристик тропосферных станций. Один интервал тропосферной связи заменит по дальности 3–4 радиорелейных.

Известные оценочные расчеты затрат на приобретение оборудования, развертывание и эксплуатацию спутниковых и тропосферных линий связи [1] приведены на рис. 1.

Анализ показывает, что спутниковая линия связи со скоростью передачи 512 кбит/с с учетом арендной платы за частотный ресурс в течение первых трех лет эксплуатации экономически выгоднее линии тропосферной (загоризонтной) связи. После указанного срока эффективнее становится использование тропосферной линии. При скоростях передачи порядка 2 Мбит/с тропосферная линия становится экономически выгоднее уже после первого года эксплуатации.

2. Применение тропосферной радиосвязи в Арктике

Какой опыт строительства тропосферных радиолиний (ТРЛ) накоплен?

К 1965 году в Советском Союзе в отдаленных районах северной части страны была построена тропосферная радиорелейная линия (ТРРЛ)

связи «Север». В ее основу легла система связи «Горизонт-М». В систему входили 46 станций, были организованы 7 линий связи и 2 узла [2].

Общая протяженность ТРРЛ составляла 13200 км, зона покрытия связью охватывала около 60 % территории государства.

Система связи «Горизонт-М» обеспечивала связью воинские части и гражданское население.

ТРРЛ обладала рядом качеств, которые делали ее наиболее приемлемой.

Во-первых, расстояние между станциями доходило до 400–600 км.

Во-вторых, для построения линии не требовалась прокладка кабелей и прочих коммуникаций между станциями.

В-третьих, связь являлась многоканальной (в частности система связи «Горизонт-М» обеспечивала 60 каналов).

В конце 1981 года была введена в строй прямая линия связи Москва — Дели [3]. На самом сложном участке между советским поселком Дангара и индийским поселком Чарар-и-Шариф, протяженностью в 697 км, была организована тропосферная линия связи. С ее помощью преодолен самый сложный отрезок трассы — горные хребты Гикдукуша. На линии применялось 12 канальное оборудование ДТР-12.

Протяженные ТРЛ построены в других странах. Например, в цепи тропосферных станций между Окинавой (Япония) и Гавайями (США), протянувшейся через Тихий океан, среднее расстояние составляет 1000 миль, а на отдельных участках превышает 1300 миль [4].

В 1976 году была разработана 24-канальная дециметровая тропосферная линия сверхдальнего распространения дециметрового диапазона волн с интервалом между станциями 350... 400 км Р-420 («Атлет-Д»). В состав станции входили две антенны «Атлет-АС16» диаметром по 16 м с коэффициентом усиления 35 дБ. Выходная мощность передатчиков составляла 5 кВт.

Р-420 широко применялась для строительства протяженных интервалов, порядка 500 км, в том числе и на Дальнем Востоке.

В 1987 году на основе ТРРС «Багет-С» (Р-417С) и «Атлет-ДС» (Р-420С) на территории шести стран — участниц Варшавского договора СССР, Польши, ГДР, Чехословакии, Венгрии и Болгарии была развернута автоматизированная сеть управления и связи «Барс» [5]. Общая протяженность линий составляла около 5 тыс. км.

В сети использовалось 54 комплекта станций Р-417С в стационарном варианте и 4 комплекта сверхдальней ТРРС Р-420С для обеспечения связи на двух участках большой (более 400 км) протяженности.

Краткий исторический анализ показывает, что в нашей стране и вооруженных силах накоплен значительный опыт создания и эксплуатации тропосферных линий сверхдальнего распространения с интервалами на 500 и даже 700 км, который необходимо применить в Арктике.

3. Отечественные станции тропосферной связи для нужд Арктики

В настоящее время в войсках связи ВС РФ на вооружении находятся тропосферные станции СВВ диапазона Р-423–1М, Р-423–2АМ, Р-423 ПМ, разработанные ФГУП «НПП «Радиосвязь» [6]. Основные оперативно-технические характеристики существующих ТРС представлены в табл. 1.

ФГУП «НПП «Радиосвязь» для Арктики выпускает контейнерную цифровую станцию тропосферной связи Р-423-АМК, работающую в диапазоне 4,4–5 ГГц.

Предприятием разработана малогабаритная перевозимая цифровая тропосферная радиорелейная станция диапазона 4,4–5 ГГц «Сосник-4ПМ» с антенной диаметром 1,5 м с пропускной способностью до 512 кбит/с.

Однако, отечественных тропосферных станций сверхдальнего распределения в настоящее время в нашей стране не производится. Максимальная дальность ТРЛ — до 250 км. Пока еще наблюдается большое отставание отечественных станций тропосферной связи от зарубежных образцов по дальности и пропускной способности.

4. Построение сети тропосферной связи в Арктической зоне России

Анализ мест размещения военных баз РФ, расстояний до материковой части и ближайших островов показывает следующее:

1) Расстояние от баз в Рогачево, на о. Среднем, на о. Котельном до материка составляет около 450–500 км. Расстояния от базы на Мысе Шмидта до ближайшего авиа и морского порта в Певеке — порядка 450 км, от Нарьян-Мара до Новой Земли или Амдермы — 450 км. Для организации управления базами с помощью тропосферных станций, необходимо чтобы последние обеспечивали связь на расстояние 450–500 км.

2) От базы Нагурское на острове Земля Александры архипелага Земля Франца Иосифа до материка — 1260 км. Однако эту базу с материковой частью РФ возможно связать, построив тропосферные линии Земля Александры — о. Сальм (315 км) — о. Ушакова (495 км) или о. Гизе (450 км) — о. Средний архипелага Седова (360 км) — материк (450 км). Радиорелейные линии в этом случае не применимы. Нужны тропосферные станции с дальностью около 500 км или необслуживаемые тропосферные ретрансляторы, размещаемые на островах.

3) Расстояние от Земли Александры до Новой Земли 765 км. Учитывая, что ТРЛ над водной поверхностью имеет запас СВЧ уровня на 9–20 дБ больше, то возможна прямая тропосферная радиосвязь между островами. Нужен эксперимент.

Вдоль побережья Северного Ледовитого океана предлагается развернуть ТРЛ, используя места размещения и оставшиеся сооружения бывшей ТРЛ «Север». Это такие населенные

Таблица 1

Параметры	Р-423–1М	Р-423–2АМ	Р-423 ПМ
Диапазон, ГГц	4,4–4,750	4,4–5,0	4,4–5,0
$P_{пер}$, дБ Вт	32	25	20
Φ/G ант., м/дБ	2,5/38,5	2,5/38,5	1,5/33
V , Мбит/с	2	2÷0,512	0,256÷0,064
$P_{пр}$, дБ/Вт	–122	–122÷128	–134÷140
Потребляемая мощность, кВт	24	8	0,75
Дальность связи на интервале, км	160	125÷160	105÷145
Протяженность РРЛ, км	2000	1000	–
Транспортная база	2 а/м КамА3-4310	1 а/м КамА3-4310 + 1 полуприцеп	Перевозимая, малогабаритная



Рис. 2. Сеть тропосферной связи в Арктике

пункты, как: п. Амдерма, г. Салехард, м. Каменный, п. Гыда, п. Хатанга, п. Таймылыр, п. Тикси, п. Чокурдак, г. Певек, п. Мыс Шмидта.

Предложенная сеть тропосферной связи в Арктике представлена на рис. 2.

Протяженность планируемой сети — около 8900 км. На ее развертывание потребуется 26–28 станций тропосферной связи с дальностью действия 500 км. При создании станций тропосферной связи с дальностью действия 700÷1000 км их количество на сети составит 13–14. Сеть сначала планируется из 3 узлов и 6 линий:

- 1) Земля Александры — о. Средний (1175 км);
- 2) о. Средний — п. Хатанга (1060 км);
- 3) п-ов Гусиная Земля — Амдерма (450 км);
- 4) о. Врангеля — м. Шмидта (270 км);
- 5) о. Котельный — п. Нижнеянк (450 км);
- 6) Нарьян — Мар — м. Шмидта (5498 км).

Предложенный вариант сети заслуживает стать основой сети тропосферной связи в Арктике, который в дальнейшем может наращиваться и развиваться.

Выводы

Исходя из изложенного в настоящее время стоит актуальный вопрос перед промышленностью — разработать современные тропосферные радиостанции дальнего действия на 500–1000 км для Арктики, способные работать при температуре до — 55 °С.

Направления дальнейшего развития современных тропосферных станций, увеличения дальности связи и пропускной способности представлены в [6] и подробно здесь не рассматриваются.

Исследования распространения волн дециметрового диапазона показали возможность увеличения расстояния между ретрансляционными станциями тропосферных линий более 1000 км. При этом объем рассеяния радиоволн находится в стратосфере. Однако, механизм распространения радиоволн на такие расстояния в нашей стране недостаточно изучен и требует дальнейшей проработки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Серов В. В., Сеченых А. М. Развитие тропосферной связи в МНИРТИ. История и перспективы применения // Журнал «ИНФОРМОСТ» — «Радиоэлектроника и Телекоммуникации». — 2006, № 4.
2. Кулешов И. А., Солозобов С. А., Шевченко В. В. Проблемы радиосвязи в Арктике. // Техника средств связи. Научно-технический сборник.— 2015. Вып. 4 (143). — СПб. — С. 21–30.
3. Тропосферный мост. — Режим доступа: <http://www.trrlsever.org>.
4. Лебедев П. Тропосферная связь. Тропосферная радиорелейная линия связи «Север». // Технологии Электроника.— 2017, № 8.
5. Тропосферная сеть связи «Барс». — Режим доступа: <http://www.stepandstep.ru>.
6. Сиваков И. Р., Малышев И. И. Направления построения современных мобильных и стационарных тропосферных станций, в том числе для работы в условиях Крайнего Севера. // Информационно-телекоммуникационные технологии. Системы, средства связи и управления / АО «Концерн «Созвездие». — Воронеж.— 2017, № 2. — С. 216–227.

Н. Г. Бикчинтаева, В. В. Дмитриев, О. В. Орлова

ПАО «Интелтех»

ЛОГИЧЕСКИЙ АЛГОРИТМ ДЕМОДУЛЯЦИИ ЦИФРОВОГО ЧАСТОТНО-МОДУЛИРОВАННОГО СИГНАЛА

АННОТАЦИЯ. В статье рассматривается алгоритм цифровой демодуляции частотно модулированного сигнала. Показано, что обладая простотой реализации, этот алгоритм обеспечивает устойчивое функционирование при приеме информации в условиях наличия аддитивного шума в многолучевом канале передачи данных.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: частотная модуляция, цифровая обработка сигнала, быстрое преобразование Фурье, логический алгоритм, демодуляция.

Введение

Предложен алгоритм цифровой демодуляции частотно модулированного (ЧМ) сигнала, обладающий простотой технической реализации и обеспечивающий хорошие результаты при тестировании на модели канала с аддитивным шумом, нестабильностью скорости передачи, расфазированием квадратур и наличием многолучевости при приеме. При этом алгоритм адаптивно подстраивается под качество канала и не требует побитовой синхронизации.

1. Модель входного сигнала

На вход цифрового демодулятора поступают квадратурные составляющие сигнала, имеющие вид чередующихся отсчетов ортогональных гармонических колебаний — действительной и мнимой частей комплексных отсчетов:

$$A_i = I_i \pm jQ_i = \cos(2\pi i/N) \pm j\sin(2\pi i/N), \quad (1)$$

где: $j = \sqrt{-1}$; i — отсчеты времени; I_i — действительная часть i -го отсчета квадратуры; Q_i — мнимая часть i -го отсчета квадратуры; $N = f_d/f_s$ — число отсчетов на период поступающего на вход сигнала; f_d — частота дискретизации; f_s — частота сигнала; $B = f_d/b$ — число отсчетов на информационный бит; b — скорость передачи информации.

В выражении (1) сумма соответствует представлению информационного символа «1», разность — «0».

Частота сигнала f_s для символа «1» имеет положительное значение, а для «0» — отрицательное.

Это описание полностью соответствует представлению действительной и мнимой составляющих частотно модулированного (ЧМ) сигнала в квадратурах, за исключением того, что в действительности значения $\cos(2\pi i/N)$, $\sin(2\pi i/N)$ нормированы не к 1, а к максимальному целому числу 2^z , где z — разрядность числа в машинном представлении z равно 8, 16, или 32.

Временные диаграммы действительной и мнимой составляющих сигнала, когда последовательно передаются символы «1», «0» представлены на рис. 1, на котором Δ означает приращение мнимой составляющей квадратуры.

2. Логический алгоритм цифровой обработки ЧМ сигналов. Правило принятия решения

Как видно из рис. 1:

при передаче «1» на интервале времени положительной полуволны действительной составляющей первая производная мнимой составляющей положительна (функция возрастает); на интервале времени отрицательной

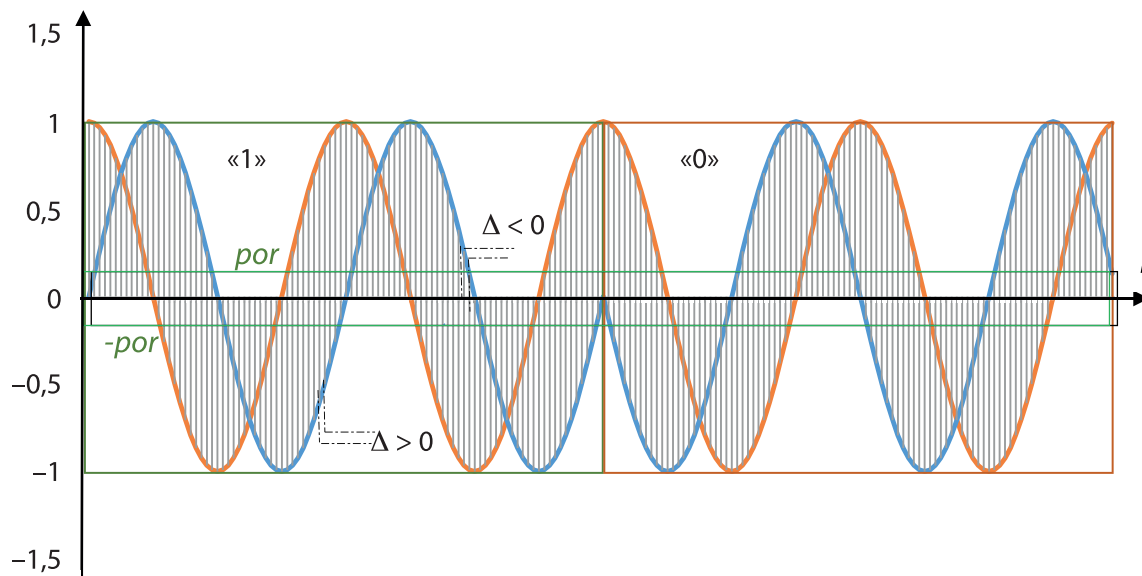


Рис. 1. Временные диаграммы действительной и мнимой составляющих сигнала, когда последовательно передаются «1», «0»: $\cos(2\pi i/N) \pm j\sin(2\pi i/N)$

половны действительной составляющей первая производная мнимой составляющей отрицательна (функция убывает);

при передаче «0» на интервале времени положительной половны действительной составляющей первая производная мнимой составляющей отрицательна (функция убывает); на интервале времени отрицательной половны действительной составляющей первая производная мнимой составляющей положительна (функция возрастает).

Знак производной можно вычислить по знаку приращения Q_i по времени:

$$Q_i - Q_{i-1} \quad (2)$$

Решение о том, какой символ передается на i -том отсчёте назовём предварительным решением и обозначим за S_i значение символа в i -й момент дискретного времени, тогда:

$$S_i = \begin{cases} \text{«1», если } \{(I_i \geq \text{por}) \text{ И } (Q_i - Q_{i-1}) > 0\} \\ \text{ИЛИ } \{(I_i < -\text{por}) \text{ и } (Q_i - Q_{i-1}) \leq 0\} \\ \text{иначе — «0»,} \end{cases} \quad (3)$$

где: por -порог, начиная с которого выносятся решения.

На рис 1 показаны уровни por и $-\text{por}$. Предварительное решение принимается, когда значение отсчёта квадратуры I_i по модулю превышает порог. Для отсчётов, на которых это условие не выполняется, алгоритм не прини-

мает решения. Предварительное решение о значении переданного символа остаётся предыдущим. Это позволяет обойти те отсчёты, на которых условия наихудшие: значения действительной составляющей квадратуры близки к нулю и вероятность ошибки максимальна.

Предварительные решения суммируются:

$S1$ — сумма единиц,

$S0$ — сумма нулей.

Если $S1$ превышает половину значения B , то принимается решение о том, что была передана «1», если $S0$ превышает половину значения B то принимается решение о том, что был передан «0».

На рис. 2 представлен логический алгоритм для входной последовательности отсчётов квадратур. Частота дискретизации f_d , скорость передачи b и первоначально установленный порог por1 являются заданными параметрами.

На блок-схеме алгоритма обозначены:

i — номер отсчёта квадратуры;

k — номер отсчёта внутри бита;

i/k — номер информационного бита;

Окончательные решения о значениях переданных символов R_k производятся для каждого i/k -го бита и выводятся на выходе алгоритма в реальном времени.

Предварительные решения на i -ых отсчётах квадратуры S_i суммируются в $S1$ и $S0$.

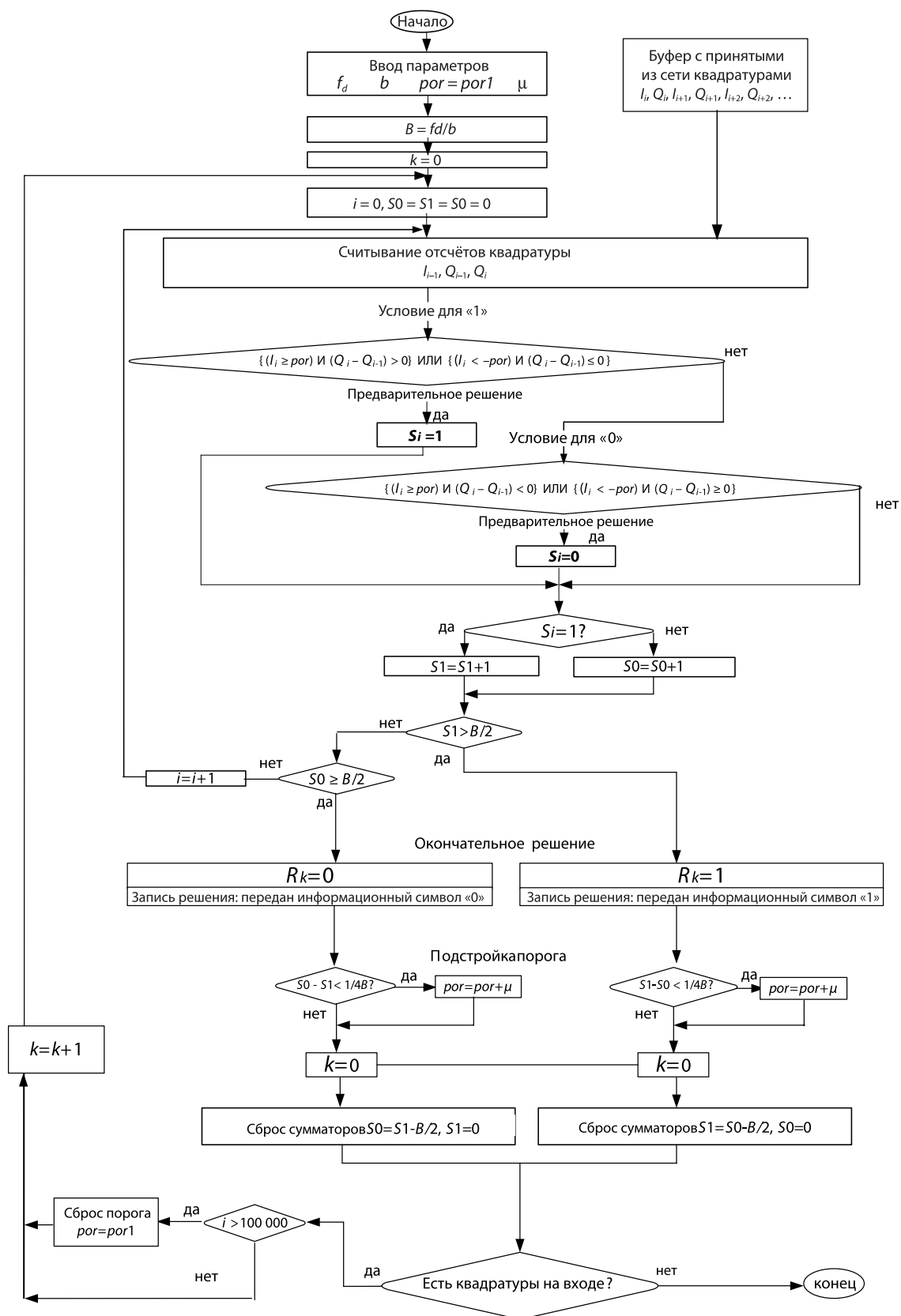


Рис. 2. Логический алгоритм цифровой обработки ЧМ сигналов, представленных в виде квадратур

После каждой нулевой оценки счётчик $S0$ сбрасывается на $S1-B/2$, а $S1$ — на нуль. После каждой единичной оценки счётчик $S1$ сбрасывается на $S0-B/2$, а $S0$ — на нуль. После каждого окончательного решения производится подстройка порога.

Порог наращивается на величину μ . Критерий, по которому алгоритм принимает решение об увеличении порога:

$$|S1 - S0| < B/4. \quad (4)$$

При изменяющейся длительности бита («плавающей» скорости передачи) набег фазы увеличивает (уменьшает) $S1$, $S0$. Так же, как компенсируются ошибки промежуточных оценок, компенсируется и набег фазы за счёт изменения длительности бита.

Для пояснения работы алгоритма представлен график изменения сумм $S1$ и $S0$ на каждом отсчёте и процесс вынесения решения на рис. 3. На таком наглядном графике можно

наблюдать поведение алгоритма при ошибочных промежуточных оценках, при изменении битовой скорости, при приёме последовательности с урезанным (неполным) первым битом. Для наглядности на графике показана частота дискретизации в 8 раз превышающая скорость передачи, реально она значительно выше.

На рис. 3 показаны 6 ошибочных промежуточных решений, кроме того, первый бит урезан на $z=B/8$. Алгоритм декодирует последовательность безошибочно, если $z < B/2$. Из этого графика видно, что при наращивании одной из сумм $S1$, $S0$, другая не меняется. При вынесении окончательного решения сброс сумм $S1$ на $S0-B/2$, $S0$ на 0 при $Ri = 1$, $S0$ на $S1-B/2$, $S1$ на 0 при $Ri = 0$, обеспечивает выход счётчика $S1$ (при $Ri = 1$), $S0$ (при $Ri = 0$) на начало бита.

На рис. 4 изменяется длительность бита (битовая скорость). Алгоритм декодирует последовательность безошибочно, если длительность

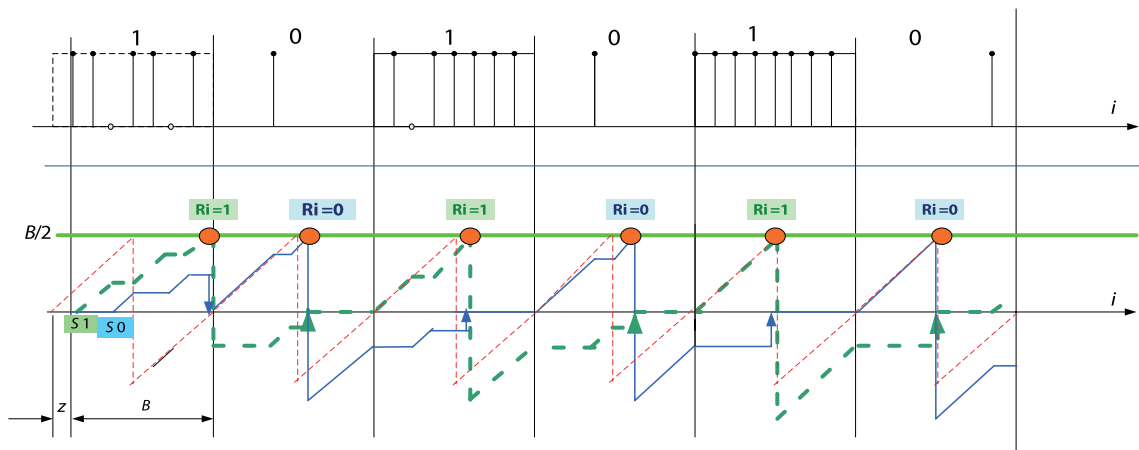


Рис. 3. График изменения сумм $S1$ и $S0$ на каждом отсчёте и процесс вынесения решения

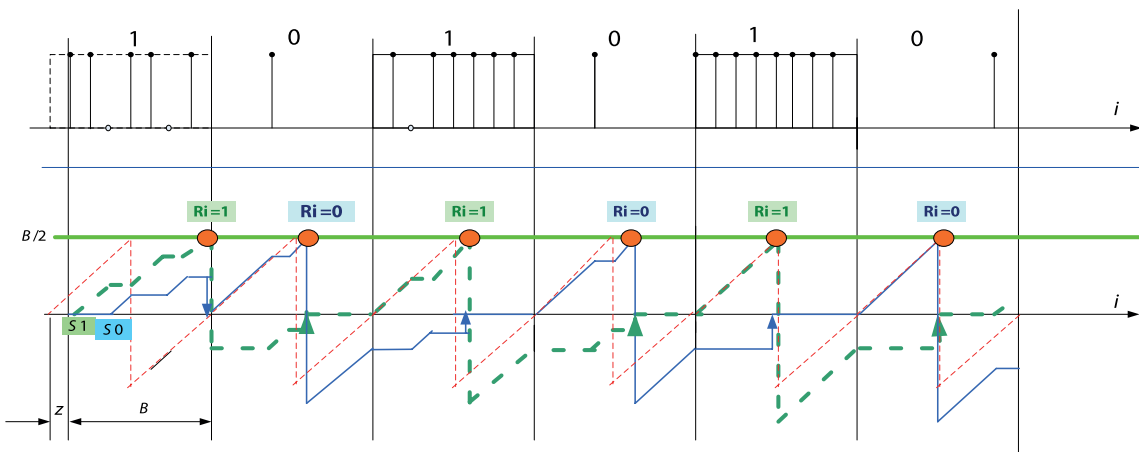


Рис. 4. График изменения сумм $S1$ и $S0$ на каждом отсчёте и процесс вынесения решения

бита изменяется не более, чем на $3B/2-1$. Из этого рисунка видно, что сброс сумм $S1$ на $S0-B/2$, $S0$ на 0 при $Ri=1$, $S0$ на $S1-B/2$, $S1$ на 0 при $Ri = 0$, обеспечивает выход счётчика $S1$ (при $Ri = 1$), $S0$ (при $Ri=0$) на начало бита.

3. Сравнительная оценка вычислительной сложности алгоритмов

Для оценки вычислительной сложности логического алгоритма сравним количество математических операций, необходимых для вынесения решения о значении переданного символа и количество операций в секунду. В качестве аналогов выбраны алгоритмы: корреляционный вычислитель, который считает взаимно-корреляционную функцию принятого и эталонного сигнала и вычислитель быстрого преобразования Фурье (БПФ).

На вынесение решения о значении принятого символа в логическом алгоритме требуется $3B$ сложений, $11B$ логических операций

При скорости передачи b это $3Bb$ сложений в секунду, $11Bb$ логических операций в секунду.

Сложения в логическом алгоритме производятся над единичными значениями, а не над числами размерностью 2^z , $z = 8, 16, 32$ как в корреляционном приёмнике и в БПФ.

4. Оценка вычислительной сложности корреляционного приёмника

При вычислении взаимнокорреляционной функции для каждого бита информации считывается в память вычислителя $2B$ отсчётов квадратуры (действительная и мнимая часть):

$$I_i, i = 1, 2, 3, \dots, B;$$

$$Q_i, i = 1, 2, 3, \dots, B.$$

В памяти вычислителя должны храниться $2B$ отсчётов эталона (действительная и мнимая часть):

$$D1_i, i = 1, 2, 3, \dots, B;$$

$$D2_i, i = 1, 2, 3, \dots, B.$$

Формулы для расчёта:

$$k = 1, 2, \dots, B. \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^k I_i D1_{B+i-k} + Q_i D2_{B+i-k},$$

$k = B+1, \dots, 2B-1$ для нечётных B $k = B+1, \dots, 2B$ для чётных B (6)

$$\sum_{i=k-B+1}^k I_i D2_{B+i-k} + Q_i D1_{B+i-k}. \quad (6)$$

Для вынесения решения о значении каждого информационного символа потребуется $8B$ умножений, $4B$ сложений, вычисление максимума из $2B$ чисел.

При скорости передачи b : $8Bb$ умножений, $4Bb$ сложений в секунду.

Следует заметить, что для того, чтобы корреляционный приёмник был оптимальным, эталонный сигнал должен быть когерентным, фаза колебания с частотой f_s эталона должна совпадать с фазой принятого сигнала.

5. Оценка вычислительной сложности алгоритма, вычисляющего БПФ

1) Для БПФ необходима предварительная подготовка данных: число отсчётов на длительности B должно быть степенью 2-х.

Дробь N/B приводим к несократимой дроби n/l , $N/B = n/l$. Отсчёты квадратуры следует повторить n раз и считывать через l отсчётов. Здесь N -длина выборки для вычисления БПФ.

2) Вычисление БПФ требует выполнение двоичной инверсии и число комплексных умножений $M \log_2 N$.

3) По результатам вычисления БПФ следует выделить максимум из 2-х отсчётов, которые соответствуют положительной и отрицательной частотам, 1 логическая операция.

Справедливости ради, следует заметить, что умножение комплексных чисел это 4 умножения и 3 сложения действительных чисел. Кроме того, требуется дополнительная схема побитовой синхронизации данных, что здесь не учитывается.

Результаты расчёта вычислительной сложности трёх алгоритмов сведены в табл. 1

В таблице алгоритмы обозначены как:

logic — логический алгоритм,

когг — корреляционный вычислитель,

БПФ — вычислитель БПФ.

Для наглядности число операций умножения в секунду представлено на графике как функция от скорости передачи, рис. 5.

6. Иллюстрация работы алгоритма

Оценка потенциальной помехоустойчивости логического алгоритма выходит за рамки данной статьи. Вместе с тем, в работе приводятся результаты его проверок на тестах в условиях аддитивной случайной помехи, изменения

Таблица 1

<i>b</i> -скорости передачи информации		50	100	150	200	300	500	600
<i>V</i> число отсчётов на бит		1920	960	640	480	320	192	96
<i>N</i> -ближайшая степень 2-х	Б П Ф	1024	512	512	256	256	128	64
Коэффициент прореживания	Б П Ф	Повторение каждого отсчета 8 раз и формирование выборки путем прореживания в 15 раз						
Число операций умножения на 1 бит	l o g i k	0	0	0	0	0	0	0
	k o r r	15360	7680	5120	3840	2560	1536	768
	Б П Ф	40960	18432	18432	8192	8192		
Число операций умножения в секунду	l o g i k	0	0	0	0	0	0	0
	k o r r	768000	768000	768000	768000	768000	768000	768000
	Б П Ф	2048000	1843200	2764800	1638400	2457600	1792000	921600
Число операций сложения на 1 бит	l o g i k	5760	2880	1920	1440	960	576	288
	k o r r	7680	3840	2560	1920	1280	768	384
	Б П Ф	30720	13824	13824	6144	6144	2688	1152
Число операций сложения в секунду	l o g i k	288000	288000	288000	288000	288000	288000	288000
	k o r r	384000	384000	384000	384000	384000	384000	384000
	Б П Ф	1546000	1382400	2073600	1228800	1843200	1344000	691200
Число логических операций на 1 бит	l o g i k	21120	10560	7040	5280	3520	2112	1056
	k o r r	3840	1920	1280	960	640	384	192
	Б П Ф	1	1	1	1	1	1	1
Число логических операций (сравнений) в секунду	l o g i k	1056000	1056000	1056000	1056000	1056000	1056000	1056000
	k o r r	192000	192000	192000	192000	192000	192000	192000
	Б П Ф	50	100	150	200	300	500	600

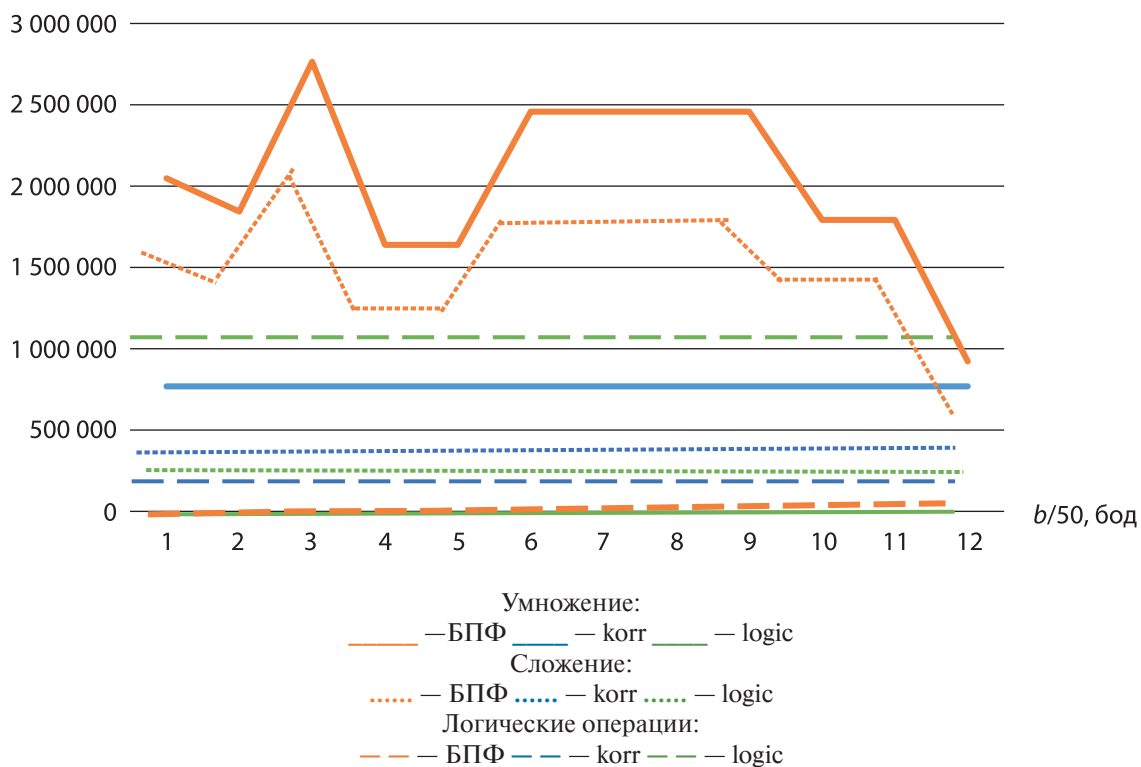


Рис. 5. Сравнительная оценка вычислительной сложности 3-х алгоритмов цифровой обработки ЧМ сигналов

скорости передачи информации, расфазирования действительной и мнимой частей квадратуры и многолучёвости. Для иллюстрации работы алгоритма в качестве аддитивного шума в примерах 1–5 использовался звуковой файл,

спектр которого расположен в области частоты сигнала. В примере 6 в качестве аддитивного шума — белый шум — последовательность некоррелированных случайных отсчётов с нормальным законом распределения.

Пример 1

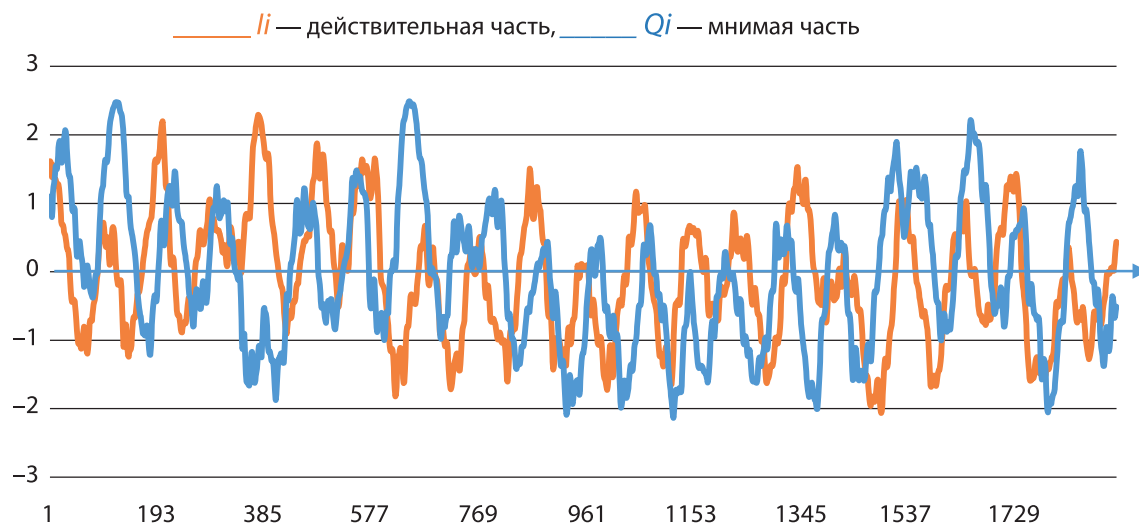


Рис. 6. Временная диаграмма квадратур, представляющих сигнал ЧМ при воздействии аддитивного шума (частота сигнала $f_s=1000$ Гц, скорость передачи 500 Бод)

Пример 2

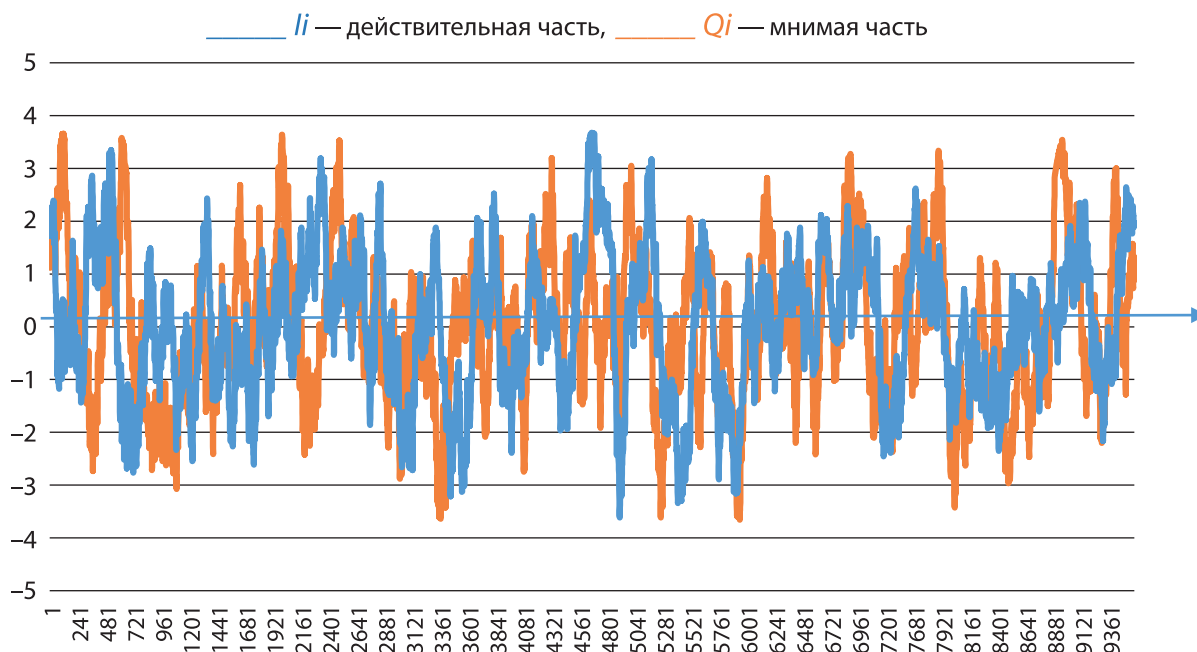


Рис. 7. Временная диаграмма квадратур, представляющих сигнал ЧМ при воздействии аддитивного шума (частота сигнала $f_s=100$ Гц, скорость передачи 50 Бод)

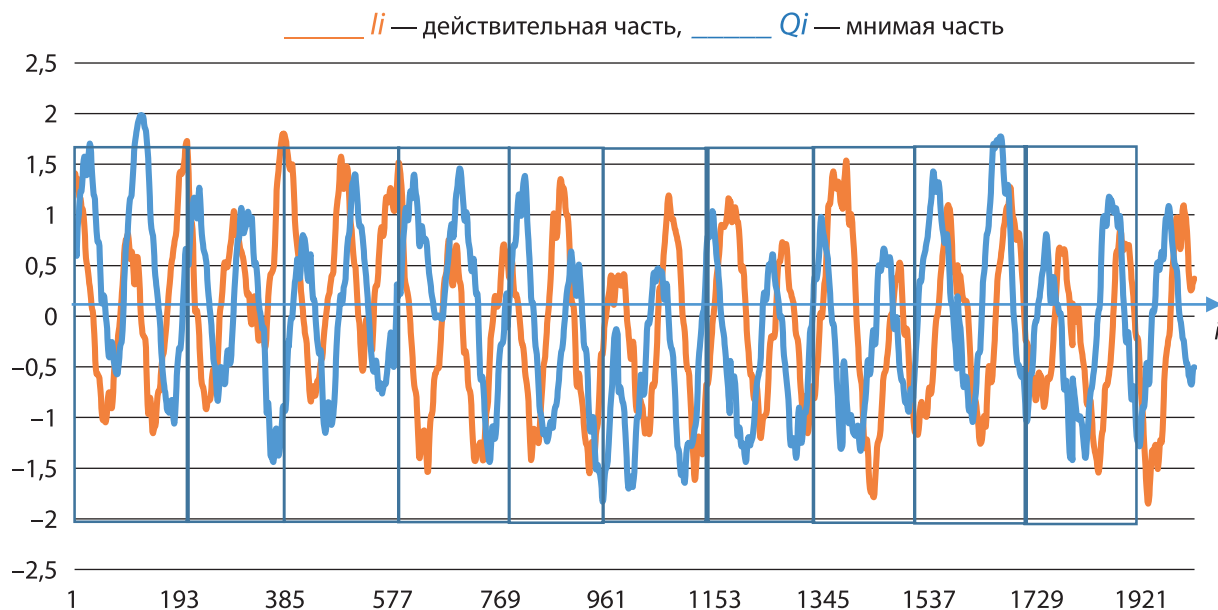


Рис. 8. Временная диаграмма квадратур, представляющих сигнал ЧМ (частота сигнала $f_s = 1000$ Гц, скорость передачи 500 Бод)

На графике рис. 6 представлены 10 бит: 1100110011. Квадратуры, в виде идеального теста, искажены шумом (коэффициент шума 1,96), первоначальный порог $por1 = 0,5$. Алгоритм декодировал сигнал без ошибок.

На графике рис. 7 представлены 10 бит: 1010101010. Квадратуры, в виде идеального теста, искажены шумом (коэффициент шума 7,29, первоначальный порог $por1 = 0,5$). Алгоритм декодировал сигнал без ошибок.

Из рассмотренных примеров можно заключить, что логический алгоритм может давать очень хорошие результаты при декодировании сигналов с аддитивным шумом, результаты зависят и от характера информационной последовательности и от характера шума.

Пример 3

Для исследования влияния меняющейся скорости передачи информации на работу логического алгоритма были рассмотрены случаи линейно нарастающей и убывающей длительности бита B .

На графике рис. 8 представлены квадратуры при увеличении длительности бита на 100 отсчетов за 10 бит: 1111100000, первоначальная величина $B = 192$, коэффициент шума 0,5. Изменение длительности бита компенсируется сбросом

$S1 = S0 - B/2$ и $S0 = S1 - B/2$. Сигнал декодируется без ошибок, пока набег «лишних» отсчетов за счёт приращения или уменьшения первоначальной величины B не превысит $3B/2 - 1$ первоначальной длительности бита.

Пример 4

Логический алгоритм основан на анализе фазовых соотношений действительной и мнимой частей квадратур. Расфазирование между I_i и Q_i нарушает их ортогональность. Сигнал декодируется правильно пока сдвиг фазы менее половины периода частоты сигнала. Насколько логический алгоритм чувствителен к таким искажениям, демонстрирует рис. 9.

На графике рис. 9 представлены 4 бита: 1100, действительная и мнимая составляющие сигнала сдвинуты относительно друг друга на 0,25 периода частоты сигнала, 10% бита. Сигнал декодирован без ошибок.

Пример 5

Кроме случайных аддитивных помех в реальном приёмнике могут наблюдаться гармонические помехи, в частности, гармоники основного сигнала и отражённые сигналы, имеющие меньшие амплитуды и различные временные задержки. Рис. 10 иллюстрирует модель сигнала, представляющего собой сумму основного сигнала и трёх его задержанных по времени копий.

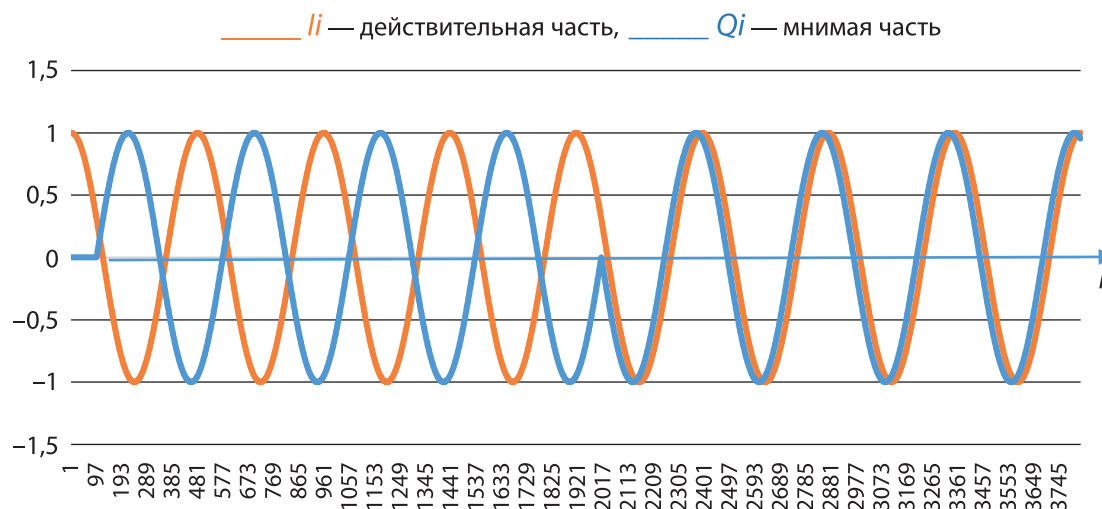


Рис. 9. Временная диаграмма квадратур, представляющих сигнал ЧМ и сдвинутых по фазе относительно друг друга на $1/4$ периода частоты сигнала (частота сигнала $f_s = 100$ Гц, скорость передачи 50 Бод)

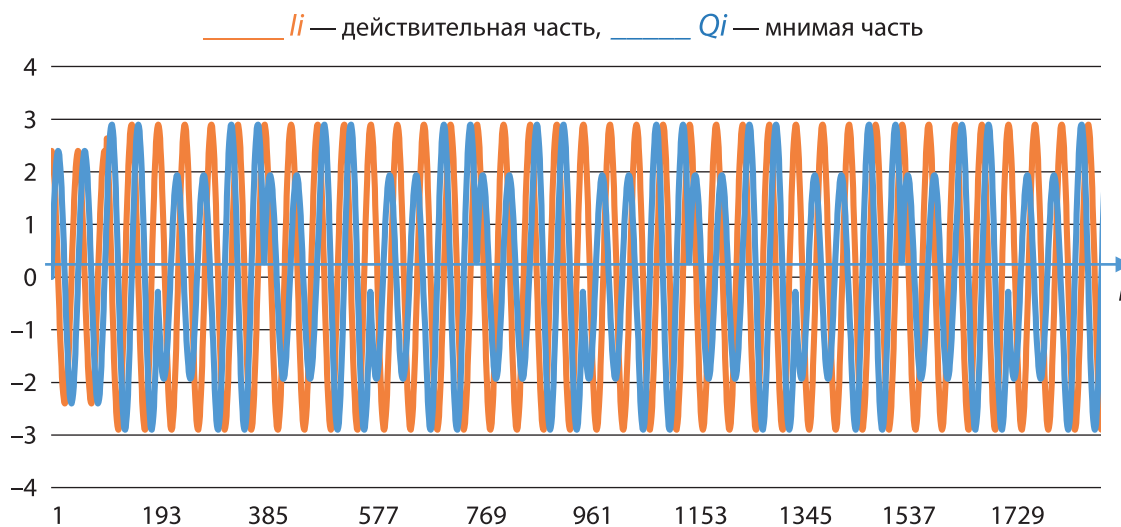


Рис. 10. Временная диаграмма квадратур, представляющих сумму сигналов основного и трёх отражённых лучей 60 %, 40 % и 20 % амплитуды основного

На графике рис. 10 представлены квадратуры, представляющие ЧМ сигнал с частотой $f_s = 1000$ Гц и скоростью передачи 500 Бод. На графике показаны 20 бит: 11001100110011001100. Три отражённых луча складываются с основным и искажают его. Алгоритм декодировал сигнал без ошибок.

Пример 6

Сумма сигнала с некоррелированными отсчётами шума (белым шумом) сложнее для обработки логическим алгоритмом.

Если частота дискретизации 96000 отсчётов в секунду, на единичный интервал приходится от 1920 до 192 отсчётов квадратуры при скоростях от 50 до 500 бод. Число отсчётов на информационный бит можно уменьшить, прореживая. Если взять отсчёты через промежуток дискретного времени в целое число раз меньший единичного и усреднить на этом промежутке, то алгоритм работает без изменения, но с меньшей частотой дискретизации. Для скоростей 50, 100, 150, 200, 300, 500 соответ-

ственно 48, 24, 16, 12, 8, 8 отсчётов. Частоты дискретизации при этом 2000, 4000, 6000, 8000, 12000, 12000 вместо 96000 отсчётов в секунду. В остальном алгоритм не меняется. Демодуляция аддитивной смеси сигнала с шумом даёт значительно лучшие результаты, чем для белого

шума без усреднения отсчётов. Такая подготовка данных эквивалентна уменьшению дисперсии шума с нормальным распределением плотности вероятности и нулевым математическим ожиданием. Чем больше интервал усреднения, тем эффективнее подготовка данных.

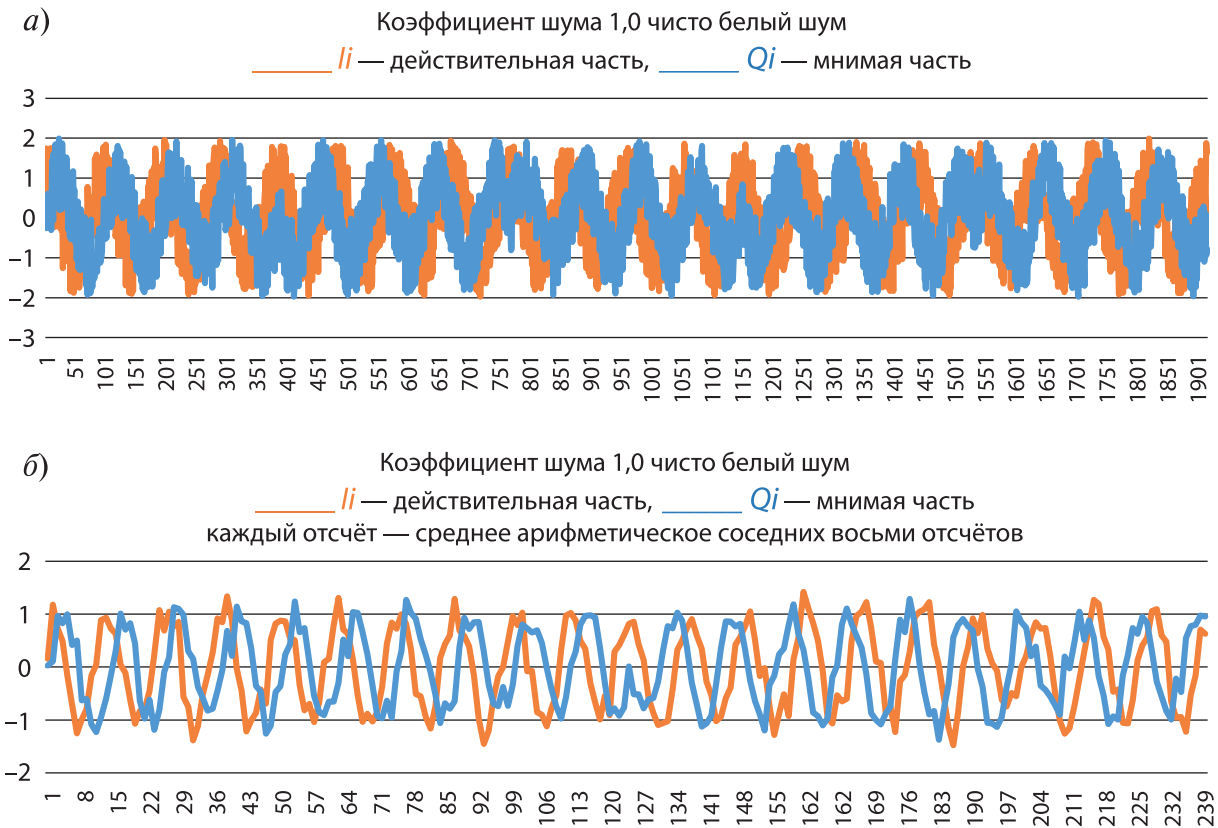
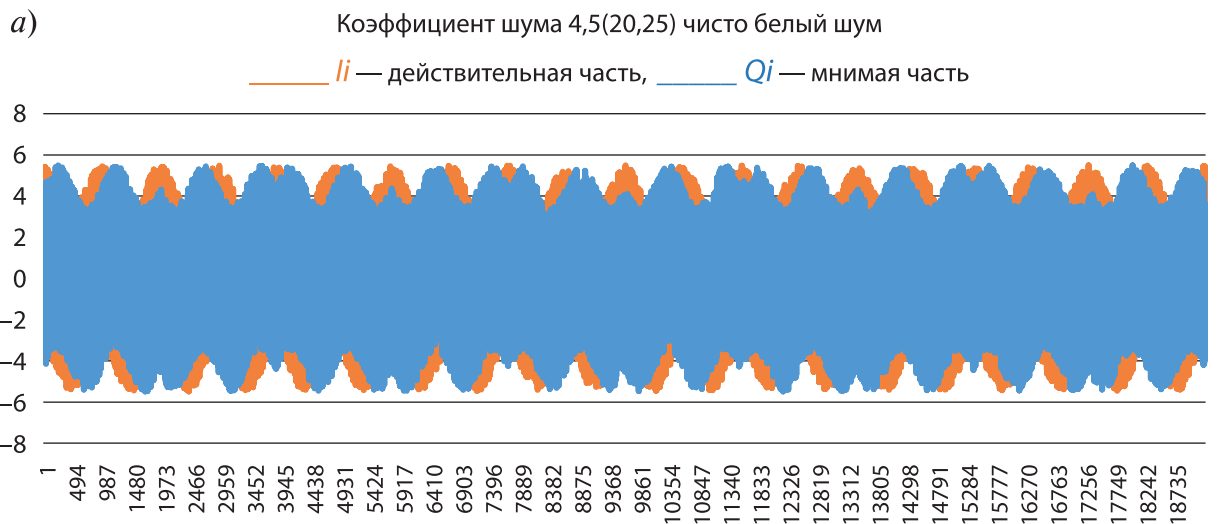


Рис. 11. Квадратуры ЧМ сигнала с частотой $f_s = 1000$ Гц и скоростью передачи 500 Бод



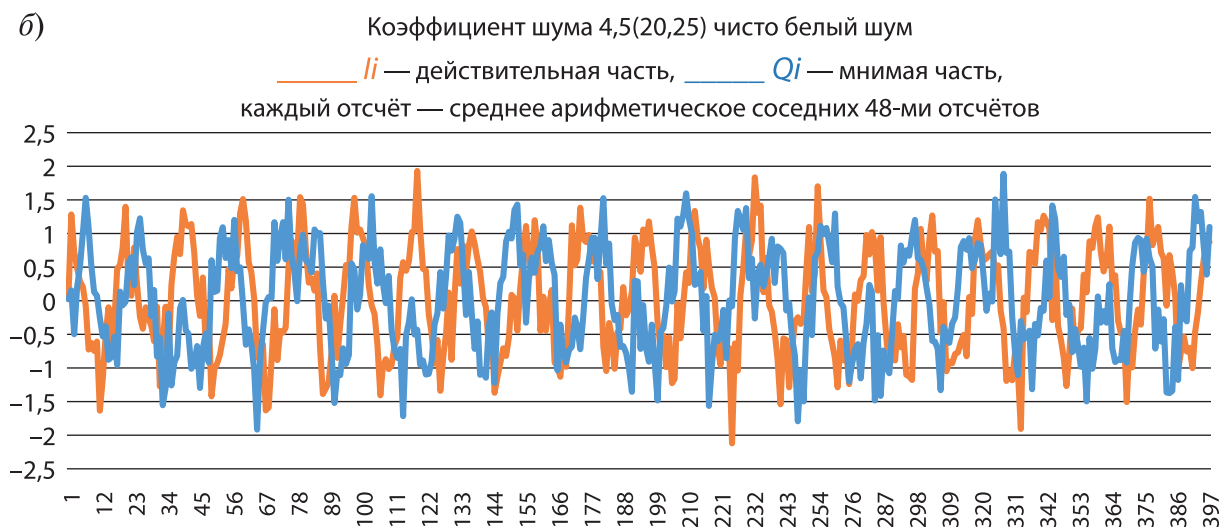


Рис. 12. Квадратуры представляют ЧМ сигнал, частота сигнала $f_s=100$ Гц, скорость передачи 50 Бод.

Усреднение нескольких последовательных отсчетов суммы сигнала с белым шумом проиллюстрировано на рисунках 11, 12.

На графике рис. 11 изображено 10 бит: 111100000 а) сигнал представлен квадратурами с аддитивным белым шумом, алгоритм выдает ошибки при коэффициенте шума 1.0; б) сглаженный сигнал обрабатывается программой для F1B1000(500) с частотой дискретизации в 8 раз меньше исходной. Алгоритм декодировал сигнал без ошибок.

На графике рис. 12 представлены 10 бит: 1010101010:

а) сигнал представлен квадратурами с аддитивным белым шумом; алгоритм выдает ошибки при коэффициенте шума 1.0;

б) сглаженный сигнал обрабатывается программой для F1B100(50) с частотой дискретизации в 48 раз меньше исходной. Алгоритм декодировал сигнал без ошибок при коэффициенте шума 4.5 (по мощности 20.25).

Выводы

В основе работы логического алгоритма лежат следующие идеи:

предварительное решение о значении очередного бита на каждом i -ом отсчете квадратуры принимается по знаку действительной составляющей сигнала и знаку производной мнимой части сигнала;

окончательное решение о том, какой информационный бит декодирован, принимает-

ся при превышении суммой предварительных решений половины дискретной длины единичного интервала;

после каждого окончательного решения производится сброс сумм предварительных решений на число, которое позволяет установку начала счетчиков единиц и нулей на начало бита с учетом числа ошибок. Ошибочные символы набираются из-за искажения сигнала шумом и из-за «плавающей» скорости передачи. Логический алгоритм робастен к тактовой синхронизации.

при вынесении предварительных решений эффективно использование порога, т. е. исключение из анализа «проблемных» участков: интервалов около перехода через нуль действительной части дискретного сигнала.

При обработке суммы сигнала с некоррелированными отсчетами шума (белым шумом), для нормальной работы алгоритма следует произвести простую подготовку данных — отсчеты квадратур берутся через промежуток дискретного времени, в целое число раз меньший единичного интервала, и усредняются на этом промежутке.

По трем отсчетам квадратуры выносятся промежуточные решения и суммируются независимо от того, какова фаза f_s . Когерентный эталон не требуется.

Вычислительная сложность алгоритма обычно оценивается числом умножений. В логическом алгоритме умножений нет.

В. И. Бобровский

Доктор технических наук, доцент, начальник отдела ПАО «Интелтех»

А. К. Скворцов

Инженер 2-й категории ПАО «Интелтех»

ПРИМЕНЕНИЕ ПЕРЕНАСЫЩЕННОЙ СИСТЕМЫ СИГНАЛОВ В КАНАЛАХ ДЕКАМЕТРОВОЙ РАДИОСВЯЗИ

АННОТАЦИЯ. В работе рассматривается способ формирования группового сигнала, ориентированного на применение «перенасыщенной» системы сигналов в каналах декаметровой радиосвязи, использующих технологию мультиплексирования с ортогональным частотным разделением каналов. Приводятся математическая модель разработанного группового ансамбля сигналов декаметрового радиоканала, результаты анализа величины неортогональности формируемого ансамбля сигналов, делается оценка эффективности его применения.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Декаметровая радиосвязь, сигнатуры, многочастотные сигналы, поднесущие частоты, неортогональные сигналы, многопользовательское детектирование, матрица Грама, коэффициент неортогональности, групповой сигнал.

Введение

К преимуществам декаметровой (ДКМ) радиосвязи следует отнести оперативность установления прямой связи на большие расстояния, простоту организации радиосвязи с подвижными объектами, возможность обеспечения связи с объектами в труднодоступных районах, высокую мобильность средств радиосвязи, быструю восстанавливаемость связи в случае нарушения в результате воздействия как случайных, так и преднамеренных помех, а также в условиях экстремальных ситуаций.

Одним из основных недостатков ДКМ радиосвязи можно выделить относительно невысокую скорость передачи информации.

В настоящее время для каналов ДКМ радиосвязи в большинстве случаев используются групповые ансамбли сигналов на основе OFDM (англ. Orthogonal frequency-division multiplexing — мультиплексирование с ортогональным частотным разделением каналов).

Популярность технологии OFDM обусловлена тем, что увеличение информационной

скорости передачи при использовании данной технологии достигается при относительно небольшом увеличении ширины полосы частот за счет добавления поднесущих, расположенных через $\Delta f = 1/T$, где T — период следования двоичных символов. Данное увеличение информационной скорости по понятным причинам производится без уменьшения периода следования двоичных символов T . Групповой сигнал, представляющий собой аддитивную смесь ортогональных в усиленном смысле сигналов на поднесущих частотах, является «насыщенным» [1, 2], что означает невозможность увеличения поднесущих, не нарушая их ортогональности. Таким образом, при использовании OFDM увеличение информационной скорости возможно на основе увеличения числа ортогональных поднесущих при неизбежном расширении полосы частот. Расширение полосы частот в ряде случаев оказывается неприемлемым в виду частотной ограниченности ДКМ каналов, а также особенностей построения выходных трактов существующих передающих радиосредств.

Одним из подходов, обеспечивающим компромисс между необходимостью повышения скорости передачи информации при неизменной занимаемой полосе частот является увеличение числа передаваемых сигналов за счет добавления к исходно ортогональным сигналам на поднесущих частотах специально конструируемых линейно зависимых от них сигналов. Групповой ансамбль сигналов в этом случае становится «перенасыщенным» [1, 2]. При данном подходе, как следствие, одним из центральных является вопрос разработки алгоритмом многопользовательского детектирования системы линейно зависимых сигналов.

Данная работа посвящена разработке способа формирования «перенасыщенной» синхронной системы сигналов, на основе добавления к исходно ортогональным сигналам поднесущих специально конструируемых линейно зависимых от них сигналов в целях увеличения информационной скорости передачи в ДКМ радиоканале.

1. Математическая модель «перенасыщенного» группового сигнала

Пусть $s_{гр}(r, t)$ — групповой сигнал на выходе радиопередающего устройства (РПДУ), где r — групповой символ.

Представим его из аддитивной совокупности основной и дополнительной составляющих:

$$s_{гр}(r, t) = s_{осн}(r_{осн}, t) + s_{доп}(r_{доп}, t), \quad (1)$$

где $r_{осн}$ и $r_{доп}$ — групповой символ основной и дополнительной составляющих соответственно. Здесь и далее сигналы будем представлять в векторном виде в целях сокращения записей, учитывая обозначения [1].

Таким образом, (1) в векторном виде имеет вид:

$$\mathbf{s}_{гр} = \mathbf{s}_{осн} + \mathbf{s}_{доп} \quad (2)$$

Основная составляющая группового сигнала (ОСГС) является аддитивной совокупностью ортогональных в усиленном смысле сигналов (ОУСС), представляющих собой радиоимпульсы, манипулированные двоичными информационными символами $r_{ij}, i = 1 \dots n_g^1, j = \dots n$:

$$s_{осн}(r_{осн}, t) = \sum_{i=1}^{n_g^1} \sum_{j=1}^n s_{ij}(r_{ij}, t), \quad (3)$$

где $s_{ij}(r_{ij}, t)$ — j -ый сигнал i -ой группы 1-го уровня, n_g^1 — число групп 1-го уровня.

Группой 1-го уровня названа аддитивная смесь из n сигналов, входящих в ОУСС.

Таким образом, имея n_g^1 групп 1-го уровня, общее число ОУСС будет $n_g^1 n$.

Группой 2-го уровня названа совокупность сигналов ОУСС, представляющих собой аддитивное объединение n смежных групп 1-го уровня, начиная с 1-й. Таким образом, в каждой группе 2-го уровня будет содержаться n^2 сигналов ОУСС.

Группой 3-го уровня названа совокупность ОУСС, аддитивно объединенных в n смежных групп 2-го уровня. Таким образом, в каждой группе 3-го уровня будет содержаться n^3 сигналов ОУСС. Группы 4-го, 5-го и т. д. уровней формируются аналогично.

Пример огибающих сигналов группы 1-го уровня представлен на рис. 1.

Каждый из сигналов $s_{ij}(r_{ij}, t)$ в (3) можно представить в виде:

$$s_{ij}(r_{ij}, t) = b_{r_{ij}} A \cos(2\pi f_{ij} t), \quad (4)$$

где $b_{r_{ij}}$ — информационный параметр сигнала $s_{ij}(r_{ij}, t)$, в случае передачи двоичных символов $b_{r_{ij}}$ будет выглядеть в виде:

$$b_{r_{ij}} = (-1)^{r_{ij}}. \quad (5)$$

В векторном виде (3) и (4) будут иметь вид:

$$\mathbf{s}_{осн} = \sum_{i=1}^{n_g^1} \sum_{j=1}^n \mathbf{s}_{r_{ij}}, \quad (6 а)$$

$$\mathbf{s}_{r_{ij}} = b_{r_{ij}} \hat{\mathbf{A}} s_{ij}, \quad (6 б)$$

где $\hat{\mathbf{s}}_{ij}$ — сигнал, нормированный к $\sqrt{E_{s_{ij}}}$, $\mathbf{s}_{ij} \triangleq \mathbf{s}_{r_{ij}=0}$ — опорный сигнал.

Тогда энергия опорного сигнала [1, 4]:

$$E_{s_{ij}} \triangleq (\mathbf{s}_{ij}, \mathbf{s}_{ij}), \quad (7)$$

где операция (x, y) обозначает скалярное произведение векторов x и y .

Как известно, скалярное произведение представляется интегралом. Таким образом, выражения (7) и (8) будут равнозначны:

$$E_{s_{ij}} = \int_0^T s_{ij}^2(t) dt. \quad (8)$$

Дополнительную составляющую группового сигнала (ДСГС) в (1) запишем в виде:

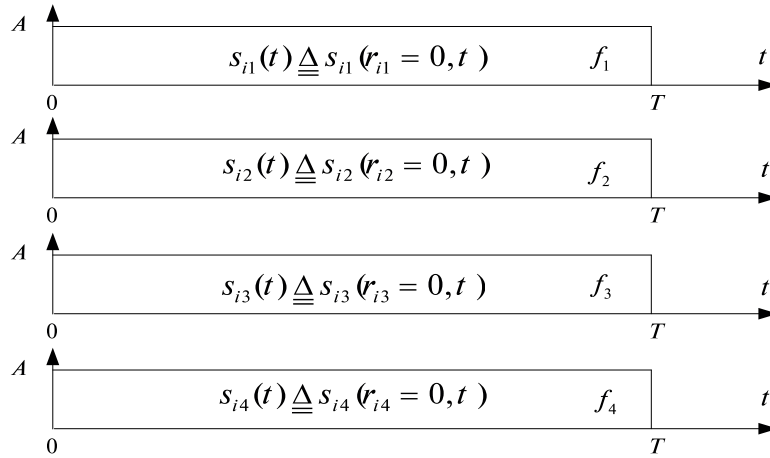


Рис. 1. Огибающие сигналов i -ой группы 1-го уровня

$$s_{\text{доп}}(r_{\text{доп}}, t) = \sum_{i=1}^{n_g^{(1)}} s^{(1)}(r_i^{(1)}, t) + \sum_{i=1}^{n_g^{(2)}} s^{(2)}(r_i^{(2)}, t) + \dots, \quad (9a)$$

где $n_g^{(1)}$, $n_g^{(2)}$... — число групп 1-го, 2-го... уровней.

$s_i^{(1)}(r_i^{(1)}, t)$, $s_i^{(2)}(r_i^{(2)}, t)$... — i -ые ДСГС групп 1-го, 2-го, ... уровней, определяемые:

$$s_i^{(1)}(r_i^{(1)}, t) = \sum_{j=1}^n s_{ij}(r_{ij}, t), \quad (9б)$$

$$s_i^{(2)}(r_i^{(2)}, t) = \sum_{k=(i-1)n+1}^{in} \sum_{j=1}^n s_{kj}(r_{kj}, t). \quad (9в)$$

Сигналы, составляющие ОСГС и ДСГС в дальнейшем также будем называть сигнатурами.

В векторном виде (9 а), (9 б), (9 в) имеют вид:

$$\mathbf{s}_{\text{доп}_{r_{\text{доп}}}} = \sum_{i=1}^{n_g^{(1)}} \mathbf{s}_{r_i^{(1)}}^{(1)} + \sum_{i=1}^{n_g^{(2)}} \mathbf{s}_{r_i^{(2)}}^{(2)}, \quad (10a)$$

$$\mathbf{s}_{r_i^{(1)}} = \sum_{j=1}^n \mathbf{s}_{r_{ij}}, \quad (10б)$$

$$\mathbf{s}_{r_i^{(2)}} = \sum_{k=(i-1)n+1}^{in} \sum_{j=1}^n \mathbf{s}_{r_{kj}}. \quad (10в)$$

Пример огибающей сигнала ДСГС представлен на рис. 2.

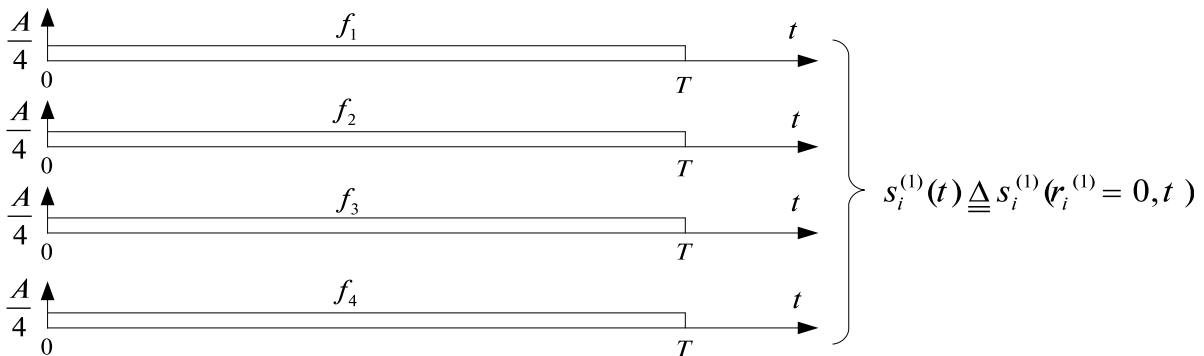


Рис. 2. Огибающая дополнительного сигнала, сформированного на основе i -ой группы 1-го уровня

2. Результаты анализа величины неортогональности «перенасыщенного» группового сигнала

Ввиду того, что в представленной выше математической модели группового ансамбля сигналов каждый из сигналов ДСГС образуется на основе линейной комбинации сигналов ОСГС, групповой ансамбль сигналов является системой линейно зависимых сигналов.

В данном групповом ансамбле сигналов будем различать следующие уровни неортогональности, которые характеризуются одинаковыми значениями коэффициентов неортогональности.

1-й уровень: неортогональность сигналов ОСГС с сигналами ДСГС первого уровня.

2-й уровень: неортогональность сигналов ОСГС с сигналами ДСГС второго уровня, и так далее.

Кроме этого будет наблюдаться неортогональность сигналов ДСГС различных уровней, которая в данной работе названа межуровневой неортогональностью сигналов ДСГС.

Совокупность всевозможных значений неортогональности различных уровней составляют матрицу Грама.

Определим описанные выше значения уровней неортогональности.

В соответствии с [3, 4] коэффициенты ортогональности находятся:

$$\rho_{s_1 s_2} = \frac{E_{s_1 s_2}}{\sqrt{E_{s_1} E_{s_2}}}, \quad (11)$$

где $E_{s_1 s_2} = (s_1, s_2)$ — взаимная энергия сигналов s_1 и s_2 ; $E_{s_1} = (s_1, s_1)$ — энергия сигнала s_1 ; $E_{s_2} = (s_2, s_2)$ — энергия сигнала s_2 .

В нашем случае 1-й уровень неортогональности будет определяться следующим образом:

$$\rho_{s_{11} s_1^{(1)}} = \frac{E_{s_{11} s_1^{(1)}}}{\sqrt{E_{s_{11}} E_{s_1^{(1)}}}}, \quad (12 \text{ а})$$

где

$$s_{11} \triangleq s_{r_{11}=0}, \quad (12 \text{ б})$$

$$s_1^{(1)} \triangleq s_{r_1^{(1)}=0}. \quad (12 \text{ в})$$

Определим $E_{s_{11} s_1^{(1)}}$, $E_{s_{11}}$ и $E_{s_1^{(1)}}$:

$$E_{s_{11}} = (s_{11}, s_{11}) = E_{11}. \quad (13 \text{ а})$$

$$E_{s_1^{(1)}} = (s_1^{(1)}, s_1^{(1)}) = \left(\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n s_{1j}, \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n s_{1j} \right) = \frac{1}{n^2} \sum_{j=1}^n E_{1j} = \frac{E_{11}}{n}. \quad (13 \text{ б})$$

$$E_{s_{11} s_1^{(1)}} = (s_{11}, s_1^{(1)}) = \left(s_{11}, \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n s_{1j} \right) = \frac{E_{11}}{n}. \quad (13 \text{ в})$$

Подставляя (13) в (12) получаем:

$$\rho_{s_{11} s_1^{(1)}} = \frac{E_{11}/n}{\sqrt{E_{11} E_{11}/n}} = \frac{1}{\sqrt{n}} = \frac{1}{n^{(1/2)^1}}. \quad (14)$$

2-й уровень неортогональности определяем следующим образом:

$$\rho_{s_{11} s_1^{(2)}} = \frac{E_{s_{11} s_1^{(2)}}}{\sqrt{E_{s_{11}} E_{s_1^{(2)}}}}. \quad (15)$$

Определим $E_{s_1^{(2)}}$ и $E_{s_{11} s_1^{(2)}}$:

$$E_{s_1^{(2)}} = (s_1^{(2)}, s_1^{(2)}) = \left(\frac{1}{n^2} \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n s_{1j}, \frac{1}{n^2} \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n s_{1j} \right) = \frac{1}{n^4} n^2 E_{11} = \frac{E_{11}}{n^2}. \quad (16 \text{ а})$$

$$E_{s_{11} s_1^{(2)}} = (s_{11}, s_1^{(2)}) = \left(s_{11}, \frac{1}{n^2} \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n s_{1j} \right) = \frac{E_{11}}{n^2}. \quad (16 \text{ б})$$

Подставляя (16) в (15) получаем:

$$\rho_{s_{11} s_1^{(2)}} = \frac{E_{11}/n^2}{\sqrt{E_{11} E_{11}/n^2}} = \frac{1}{n} = \frac{1}{n^{(1/2)^2}}. \quad (17)$$

Аналогичный расчет 3-го уровня неортогональности:

$$\rho_{s_{11} s_1^{(3)}} = \frac{E_{11}/n^3}{\sqrt{E_{11} E_{11}/n^3}} = \frac{\sqrt{n^3}}{n^3} = \frac{1}{\sqrt{n^3}}. \quad (18)$$

Обобщая выражения (14), (17) и (18) получим общую формулу расчета коэффициентов неортогональности сигналов ОСГС и ДСГС для матрицы Грама:

$$\rho_{s_{11} s_1^{(u)}} = \frac{1}{n^{u/2}} = \frac{1}{\sqrt{n^u}}. \quad (19)$$

Определим значения коэффициентов межуровневой неортогональности:

$$\rho_{s_1^{(1)}s_1^{(2)}} = \frac{E_{s_1^{(1)}s_1^{(2)}}}{\sqrt{E_{s_1^{(1)}s_1^{(2)}}}}, \quad (20)$$

$$E_{s_1^{(1)}s_1^{(2)}} = (s_1^{(1)}, s_1^{(2)}) =$$

$$= \left(\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n s_{1j}, \frac{1}{n^2} \sum_{j=1}^n \sum_{j=1}^n s_{1j} \right) = \frac{1}{n^3} n E_{11} = \frac{E_{11}}{n^2},$$

$$\rho_{s_1^{(1)}s_1^{(2)}} = \frac{E_{s_1^{(1)}s_1^{(2)}}}{\sqrt{E_{s_1^{(1)}s_1^{(2)}}}} = \frac{E_{11}/n^2}{\sqrt{\frac{E_{11}}{n} \frac{E_{11}}{n^2}}} =$$

$$= \frac{\sqrt{n^3}}{n^2} = \frac{n^{3/2}}{n^2} = n^{3/2-2} = n^{-1/2} = \frac{1}{\sqrt{n}}.$$

В общем виде, обобщая (13) и (16):

$$E_1^{(u)} = \frac{1}{n^u}. \quad (21)$$

$$E_{s_1^{(u)}s_1^{(v)}} = \frac{1}{n^u} \frac{1}{n^v} n^{\min(u,v)} E_{11}. \quad (22)$$

Таким образом, для $u < v$ получим:

$$E_{s_1^{(u)}s_1^{(v)}} = \frac{1}{n^{u+v}} n^u E_{11} = \frac{1}{n^v} E_{11}. \quad (23)$$

Подставляя (21) и (23) в общую формулу (20) получим для любого целого $u < v$:

$$\rho_{s_1^{(u)}s_1^{(v)}} = \frac{E_{11}/n^v}{\sqrt{\frac{E_{11}}{n^u} \frac{E_{11}}{n^v}}} = \frac{\frac{1}{n^v}}{\frac{1}{\sqrt{n^{u+v}}}} = \frac{\sqrt{n^{u+v}}}{n^v} = \sqrt{\frac{n^u}{n^v}}. \quad (24)$$

Таким образом (19) является частным случаем (24) при $u=0$.

В случае $n=4$ для группового сигнала, имеющего группы 1-го и 2-го уровня матрица Грама, будет такой, как показано в таблице 1.

Графики зависимости коэффициентов неортогональности сигналов ОСГС и ДСГС от числа сигналов в группе 1-го уровня, а также коэффициентов межуровневой неортогональности сигналов ДСГС представлены на рис. 3 и 4.

3. Оценка эффективности применения способа формирования «перенасыщенного» группового сигнала

Пусть число первичных (ортогональных) сигналов поднесущих $N = n^l$, например, при $n = 4$

Таблица 1

Матрица Грама «перенасыщенного» группового ансамбля сигналов при $n = 4$ при использовании групп 1-го и 2-го уровней

1	0	0	0	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,25	
0	1	0	0	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,25	
0	0	1	0	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,25	
0	0	0	1	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,25	
0,5	0,5	0,5	0,5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5	
0	0	0	0	0	1	0	0	0	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,25	
0	0	0	0	0	0	1	0	0	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,25	
0	0	0	0	0	0	0	1	0	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,25	
0	0	0	0	0	0,5	0,5	0,5	0,5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0,5	0	0	0	0	0,25	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0,5	0	0	0	0	0,25	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0,5	0	0	0	0	0,25	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5	0,5	0,5	0,5	1	0	0	0	0	0,5	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0,25	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0,25	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0,25	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0,25	
0,25	0,25	0,25	0,25	0,5	0,25	0,25	0,25	0,25	0,5	0,25	0,25	0,25	0,25	0,5	0,25	0,25	0,25	0,25	0,5	1

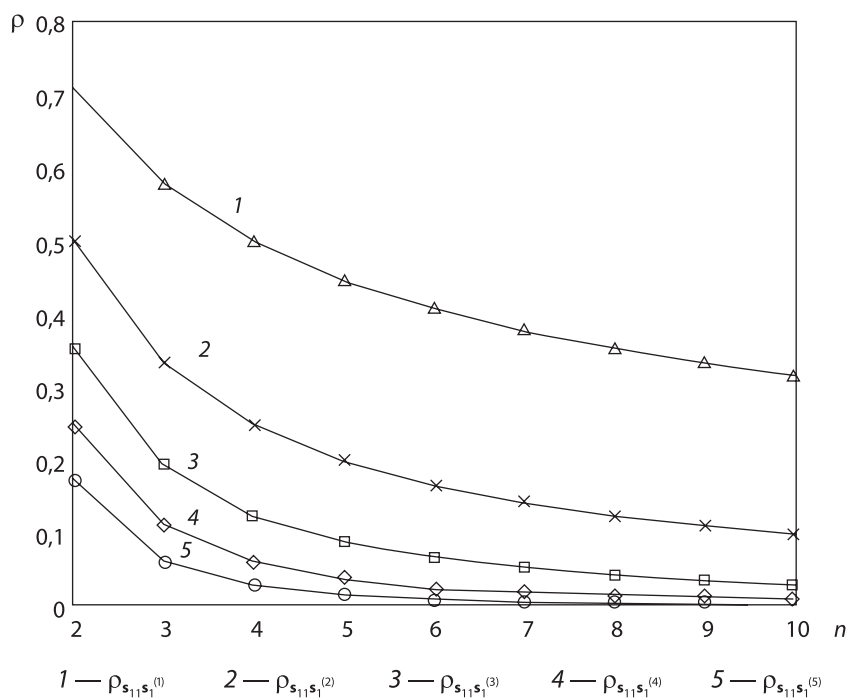


Рис. 3. Графики зависимости коэффициентов неортогональности сигналов ОСГС и ДСГС от числа сигналов в группе 1-го уровня

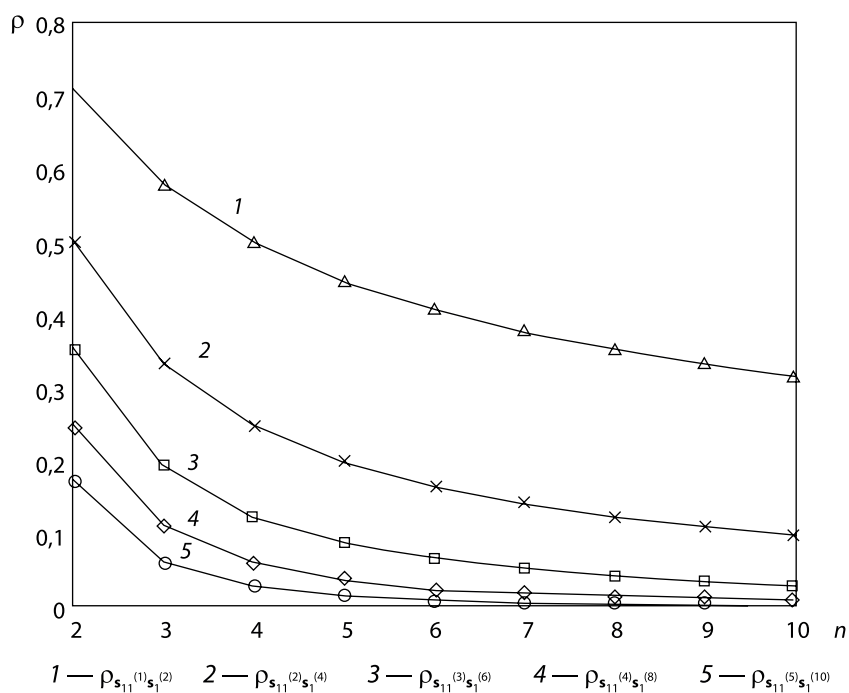


Рис. 4. Графики зависимости коэффициентов межуровневой неортогональности сигналов ДСГС от числа сигналов в группе 1-го уровня

$N = 4, 16, 64$ или 256 , и на их основе необходимо сформировать дополнительные сигнатуры. Дополнительные по отношению к $N = n^l$ сигнатуры формируются с помощью рекуррентной l -шаговой (l -слойной) процедуры. На первом шаге, т. е. в первом слое формируется $n^{l-1} = N/n$ дополнительных сигнатур. На втором шаге, т. е. во втором слое формируется $n^{l-2} = N/n^2$ дополнительных сигнатур и т. д.

В целом формируется число дополнительных сигнатур, равное

$$K_{\text{доп}} = n^{l-1} + n^{l-2} \dots + n + 1 = \frac{n^l - 1}{n - 1}, \quad (25)$$

(в соответствии со свойствами геометрической прогрессии).

В результате общее число сигнатур (т. е. исходных ортогональных и дополнительных к ним) становится равным

$$K = K_{\text{осн}} + K_{\text{доп}} = n^l + \frac{n^l - 1}{n - 1} = \frac{n^{l+1} - 1}{n - 1}. \quad (26)$$

В пределе (а практически — начиная с $N = 256$) число обслуживаемых пользователей увеличивается на $1/3$, что немало по отношению к используемым в настоящее время сигналам OFDM.

Например, если $N = 4$, можно сформировать только один слой. Общее число сигнатур ста-

новится равным 5. При $N = 4^2 = 16$, т. е. $l = 2$, становится возможным сформировать два слоя дополнительных сигнатур: в первом слое $4^{l-1} = 4^1 = 4$ дополнительных сигнатур, и во втором, т. е. последнем слое $4^{l-2} = 4^0 = 1$ — одну дополнительную сигнатуру, всего 5 дополнительных сигнатур. Общее число сигнатур становится равным $K = 4^l + 4^{l-1} + 4^{l-2} = 16 + 4 + 1 = 21$ (см. рис. 3), что позволяет увеличить число обслуживаемых пользователей на 31,25%.

Если же $N = 4^3 = 64$, то можно сформировать уже три слоя дополнительных сигнатур. В первом слое будет 16 дополнительных сигнатур, т. к. $4^{l-1} = 4^2 = 16$, во втором 4, т. к. $4^{l-2} = 4$, а в третьем слое — одна дополнительная сигнатура, всего 21 дополнительная сигнатура.

Общее число сигнатур становится равным $K = 64 + 21 = 85$, что позволяет увеличить информационную скорость передачи на 32,8%.

При исходных матрицах сигнатур $N = 4^4 = 256$ и $N = 4^5 = 1024$ информационная скорость увеличивается соответственно на 33,2% и 33,3%.

При произвольных l и n выигрыш в информационной скорости передачи будет составлять

$$\eta = \frac{K_{\text{доп}}}{K_{\text{осн}}} 100\% = \frac{n^l - 1}{n - 1} \frac{100\%}{n^l} = \frac{1 - n^{-l}}{n - 1} 100\% \quad (27)$$

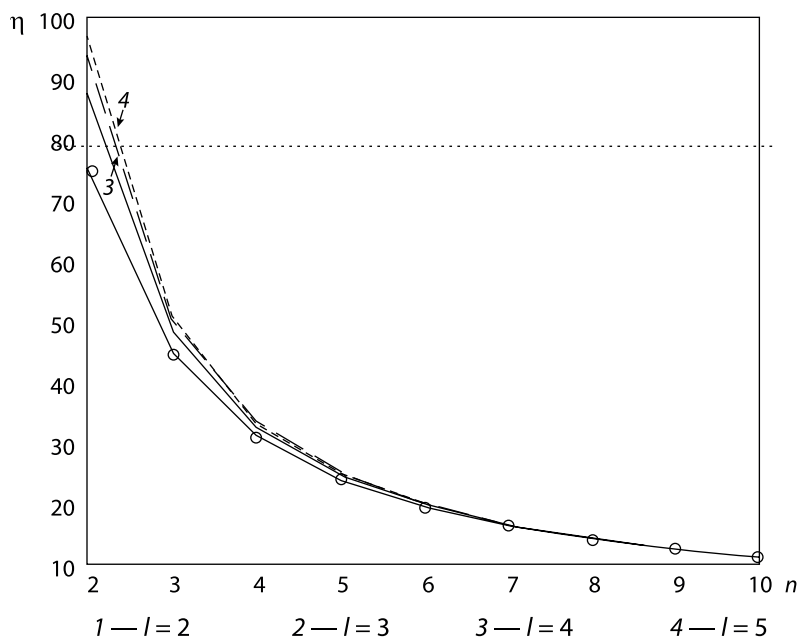


Рис. 5. График зависимости выигрыша в информационной скорости передачи η от размера группы неортогональности n при $l = \{2, 3, 4, 5\}$.

График зависимости выигрыша в информационной скорости передачи будет составлять от размера группы n при различных l представлен на рис. 5.

Выводы

В работе рассмотрен способ формирования группового сигнала, в котором к его основной ортогональной составляющей добавляется дополнительная составляющая, образуя «перенасыщенный» групповой ансамбль линейно-зависимых сигналов.

В данном групповом ансамбле сигналов определены уровни неортогональностей и про-

ведены их расчеты, представленные матрицей Грама. Оценка уровней неортогональности показывает, что их значения лежат приблизительно от 0 до 0,7 в зависимости от выбора числа сигналов, составляющих группу 1-го уровня неортогональности.

Оценка эффективности показывает, что при достаточно невысоких уровнях неортогональности, приемлемых для реализации алгоритмов многопользовательского детектирования, выигрыш в информационной скорости передачи без расширения полосы частот составляет приблизительно 33 %.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Ипатов В. П.** Широкополосные системы и кодовое разделение сигналов. Принципы и приложения. — М.: Техносфера, 2007.

2. **Verdu S.** Multiuser Detection. Cambridge University Press, 1998.

3. **Бураченко Д. Л.** Оптимальное разделение цифровых сигналов многих пользователей в линиях и сетях связи в условиях помех. — Л.: ВАС, 1990.

4. **Бобровский В. И.** Многопользовательское детектирование / под ред. Д. Л. Бураченко. Ульяновск: «Вектор-С», 2007.

П. А. Будко

Доктор технических наук, профессор, ученый секретарь ПАО «Интелтех»

А. М. Винограденко

Кандидат технических наук, доцент, докторант Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного

С. В. Кузнецов

Главный конструктор ООО «Информтехпроект»

В. К. Гойденко

Адъюнкт Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного

СПОСОБ КОНТРОЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ РАДИОЭЛЕКТРОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСИРОВАНИЯ ПОКАЗАНИЙ НЕСКОЛЬКИХ ТИПОВ ДАТЧИКОВ

АННОТАЦИЯ. В материалах статьи представлен способ комплексного контроля и диагностики радиоэлектронных модулей образцов вооружения, военной и специальной техники, основанный на анализе, комплексировании и измерительной информации, поступающей от тепловизора, датчика напряженности магнитного поля, датчика напряжения и видеокамеры. Приведен прототип системы моделирования технического состояния радиоэлектронных модулей образцов вооружения, военной и специальной техники, осуществляющих данный способ. Предложен подход к решению задачи трехмерного представления технического состояния радиоэлектронного оборудования на базе совместных показаний четырех датчиков.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: универсальный автоматизированный комплект технической диагностики, комплексный контроль, радиоэлектронное оборудование, датчики.

Введение

В состав современных образцов вооружения, военной и специальной техники (ВВСТ) видов и родов войск Вооруженных Сил Российской Федерации входит разнообразное радиоэлектронное оборудование (РЭО). Значимость и относительная доля объема этого оборудования в каждом образце ВВСТ непрерывно возрастает, что требует создания эффективных средств диагностики для технического обслуживания и ремонта (ТО и Р).

Радиоэлектронное оборудование ВВСТ строится на единых принципах цифровой обработки сигналов, с использованием одинаковой электронной компонентной базы, что дает

возможность создания эффективных унифицированных средств диагностики, единых для ВВСТ всех видов и родов ВС РФ.

Цель работы — разработка способа комплексного контроля и диагностики радиоэлектронных модулей образцов вооружения, военной и специальной техники, основанный на анализе, комплексировании и измерительной информации, поступающей от тепловизора, датчика напряженности магнитного поля, датчика напряжения и видеокамеры.

Рассмотрим задачу оценки технического состояния радиоэлектронных модулей образцов ВВСТ (объектов контроля), основанной на анализе, комплексировании и измерительной информации, поступающей от тепловизора,

датчика напряженности магнитного поля, датчика напряжения и видеокамеры. Разрабатываемый способ должен удовлетворять следующим условиям: 1) выполнять комплексирование показаний датчиков таким образом, чтобы признаки, характеризующие состояние объекта контроля по одному параметру, «невидимые» для одного типа датчиков, но идентифицируемые датчиками другого типа, могли быть обнаружены; 2) оценивать вероятности нахождения контролируемых параметров, характеризующих техническое состояние радиоэлектронного оборудования, как объекта контроля, в пределах допусков; 3) осуществлять построение трехмерной модели технического состояния контролируемого объекта.

1. Определение диапазона достоверности наблюдаемых параметров на основе параметрической безотказности контролируемого оборудования

На основе статистического анализа измеренных параметров X_i радиоэлектронных модулей, устанавливают диапазон достоверности — область работоспособных состояний, представляющий интервал разброса значений параметров, соответствующих работоспособному РЭО в целом. Для любого параметра РЭО может быть установлен вектор параметров состояний $X(t) = \{X_1(t), X_2(t), \dots, X_i(t), \dots, X_k(t)\}$, $i = 1, 2, \dots, k$, независимый от времени t , а также векторы, ограничивающие допустимые пределы изменений X снизу $\{X_{n1}, X_{n2}, \dots, X_{ni}, \dots, X_{nk}\}$ и сверху $\{X_{b1}, X_{b2}, \dots, X_{bi}, \dots, X_{bk}\}$ [1].

При этом выход любого параметра полученного измерительного сигнала $X_i(t)$ за соответствующие пределы X_{ni}, X_{bi} должен рассматриваться как сигнал об отказе РЭО, поступающий с датчика. В этом случае имеется возможность контролировать или прогнозировать изменение параметров $X(t)$. Следовательно, можно вычислять параметрическую безотказность контролируемого оборудования, которую характеризуют вероятностью его безотказной работы за данное время. За время t в параметрической постановке вероятность безотказной работы контролируемого оборудования

$$P_n(t) = W(\tau > t) = W[X_n < X(t) < X_b], \quad (1)$$

где τ — случайное время возникновения отказа или время безотказной работы контролируемого оборудования.

Из-за отклонений свойств РЭО, условий и режимов его эксплуатации все параметры $X(t)$ в общем случае можно рассматривать как случайные функции. Допустимые пределы X_{ni}, X_{bi} , если они заданы в эксплуатационной документации, являются детерминированными (неслучайными) функциями.

Таким образом, состояние контролируемого оборудования описывается вектором случайных функций, причем все функции в этом векторе зависимы или имеют случайную линейную зависимость, так как отражают работу одного и того же объекта [2].

С учетом этого в самом общем случае задача расчета параметрической безотказности состоит в отыскании вероятности того, что за время t ни одна из реализаций $x_i(t)$ случайных функций $X_i(t)$ не выйдет за допустимые пределы X_{ni}, X_{bi} . Если предположить, что функции X_{ni} и X_{bi} неслучайны и детерминировано определяют D диапазон достоверности контролируемого оборудования для всех t , то в этом случае:

$$P_n(t) = \int_D \dots \int f[X_1(t), X_2(t), \dots, X_i(t), \dots, X_k(t)] \times dX_1 \dots dX_i \dots dX_k, \quad (2)$$

где $f[X_1(t), X_2(t), \dots, X_i(t), \dots, X_k(t)]$ — плотность вероятности вектора $X(t)$ случайных функций, D — область интегрирования, в пределах диапазона достоверности.

Характер возникновения параметрического отказа для случая, когда $k = 1$, то есть $X(t), X_n, X_b$ — не векторы функций, а функции (рис. 1). Неслучайные функции X_n, X_b образуют диапазон достоверности. Случайный процесс $X(t)$ представлен математическим ожиданием $m_x(t)$

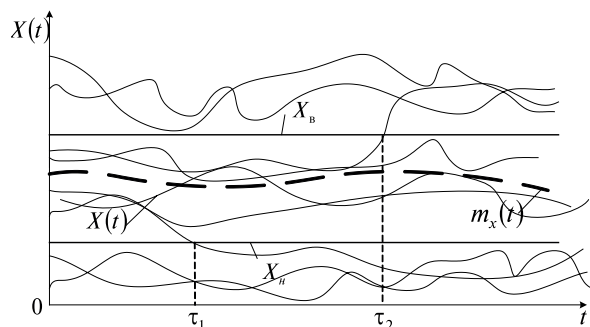


Рис. 1. Выход случайной функции $X(t)$ за допустимые пределы

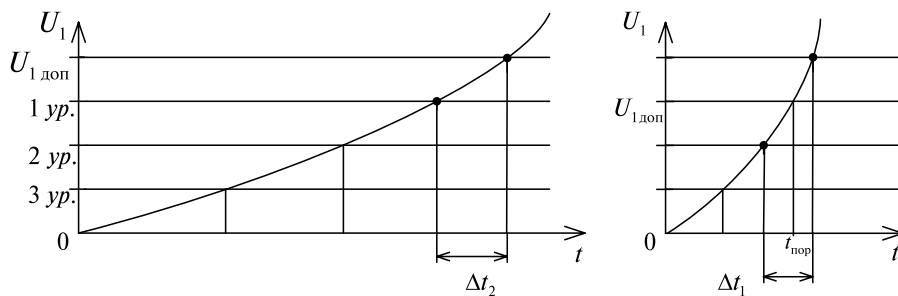


Рис. 2. Зависимость установки значений допусков от динамики выхода контролируемого параметра за допустимые пределы

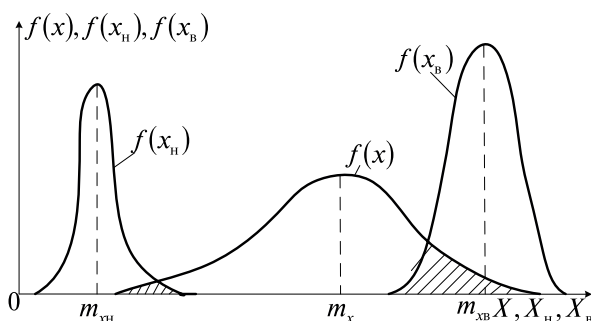


Рис. 3. Определение вероятности параметрического отказа

и реализациями $x(t)$, одна из которых вышла за нижний предел (момент τ_1 отказа элемента оборудования), а другая — за верхний предел (τ_2).

Скорость выхода контролируемого параметра за границы диапазона достоверности подтверждает необходимость динамического изменения допустимых пределов для предотвращения отказов оборудования [3].

С учетом того, что в определенный момент времени, состояние ОК определяется только одним случайным параметром $X_i(t)$, можно учесть переменность пределов. При этом задача сводится к тому, чтобы вычислить вероятность, если заданы функции распределения случайных величин X, X_n, X_b .

На рис. 3 дана графическая интерпретация задачи для случая, когда эти величины непрерывны и заданы плотностями вероятностей $f(x), f_n(x_n), f_b(x_b)$. Далее для простоты изложения символом f обозначены различные плотности вероятности. Заштрихованные площади соответствуют вероятности параметрического отказа, при котором реализованные значения

x, x_n, x_b случайных величин X, X_n, X_b таковы, что $x < x_n$ или $x < x_b$.

Для вычисления вероятности параметрической безотказности введем случайные величины:

$$Y_n = X - X_n, Y_b = X_b - X. \quad (3)$$

Тогда вероятность P_n того, что случайная величина X не выйдет за уровни X_n, X_b , может быть вычислена как

$$P_n = W(Y_n > 0 \text{ и } Y_b > 0). \quad (4)$$

Случайные величины Y_n и Y_b зависимы, так как в них входит одна и та же случайная величина X . Поэтому для вычисления вероятности P_n , необходимо знать совместную плотность вероятности $f(y_n, y_b)$. Если такая плотность найдена, то вероятность одновременного попадания случайных величин Y_n и Y_b на интервал $(0, \infty)$, в пределах диапазона достоверности определяется выражением:

$$P_n = \int_0^\infty \dots \int_0^\infty f(y_n, y_b) dy_n dy_b. \quad (5)$$

Таким образом, диапазон достоверности контролируемых параметров будет определяться исходя из установки допустимых пределов X_n, X_b на основе статистического анализа работы нескольких образцов РЭО.

2. Описание способа комплексного контроля технического состояния радиоэлектронного оборудования

Комплексный характер контроля заключается в получении измерительной информации об радиоэлектронном оборудовании, основанной на j разносторонних признаках (электромагнитном отклике, теплограмме, оптическом изображении, напряжении и др.), полученные, соответственно, от датчика напряженности

магнитного поля, тепловизора, видеокамеры, вольтметра и др. Учитывая, что передача измерительной информации о контролируемой аппаратуре с датчиков на блоки обработки информации осуществляется постоянно, то, при нормальной работе аппаратуры, ее объем будет избыточен. Для устранения избыточности, необходимо задействовать один (два) вида датчиков, снимающих информацию по наиболее критичным для определенного типа аппаратуры параметрам. В те моменты времени, когда контролируемые параметры будут выходить за допустимые пределы, информация, поступающая с датчиков, будет свидетельствовать о аварийном (предаварийном) состоянии оборудования. В этом случае важно, чтобы данные, поступающие с каждого датчика дополняли друг друга, давая более полную картину. Для каждого контролируемого элемента оборудования на заведомо работоспособных экземплярах по разносторонним признакам создают его «рабочий профиль» и сопоставляют с диапазоном достоверности. По результатам сравнения оценивают техническое состояние элемента РЭО, по наибольшему числу совпадений секторов сравниваемых диапазонов достоверности, а также идентифицируют место отказа (неисправность) элемента оборудования. Оценивают состояние радиоэлектронного оборудования в несколько этапов, причем на первом этапе, используют информацию о местах отказов и состояниях каждого элемента РЭО, по которой обнаруживают путем сравнения с диапазоном достоверности нарушение заданного режима функционирования (нормальное или аварийное состояние). На последующих этапах определяют уровень предаварийного состояния контролируемого объекта, идентифицируемый скоростью выхода его ОК за допустимые пределы (рис. 2), путем измерения всей доступной для получения измерительной информации.

Для совмещения показаний различных типов датчиков использован метод, основанный на сетке выбросов и Байесовском выводе, модифицированный для построения трехмерной модели технического состояния радиоэлектронного оборудования на основе поверхности точек. Измерения, полученные от каждого из датчиков представлены в виде поверхности точек в трехмерном пространстве (рис. 4), при этом каждая точка r поверхности представлена следующими величинами:

- 1) математическим ожиданием m_x положения в трехмерном пространстве r_x, r_y, r_z ;
- 2) матрицей ковариации r_δ , задающей дисперсию трехмерного нормального распределения положения точки;
- 3) вероятностью параметрического отказа $r_{отк}$;
- 4) вероятностями получения измерительного сигнала о предаварийных состояниях N элементов РЭО r_{d_i} , где $i \in 1, \dots, N$.

Измерительная информация, полученная с датчика напряженности магнитного поля представлена в виде нескольких точек с положением $r_{xyz} = M_r^{-1} M_n^{-1} v$ [4], где M_r — матрица, задающая положение датчика относительно контролируемого элемента радиоэлектронного оборудования; M_n^{-1} — матрица технического состояния размерностью $H \times H$, где H — длина v векторов (с координатой z) цифровой последовательности, которые представляют собой h измерений мгновенных значений напряженности магнитного поля, где $h = 1, 2, \dots, H$ [5, 6].

Результаты измерений температуры контролируемого элемента радиоэлектронного оборудования (рис. 5), полученные с выхода тепловизора добавляются в поверхность точек в трехмерном пространстве путем построения карт Хотеллинга и обобщенной дисперсии на основе параметров, установленных при анализе процесса контроля параметров элемента радиоэлектронного оборудования, с выявлением возможных нарушений стабильности его

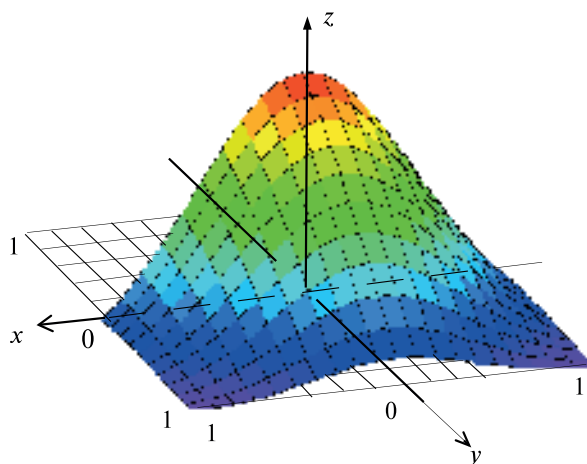


Рис. 4. Пример трехмерной модели технического состояния РЭО

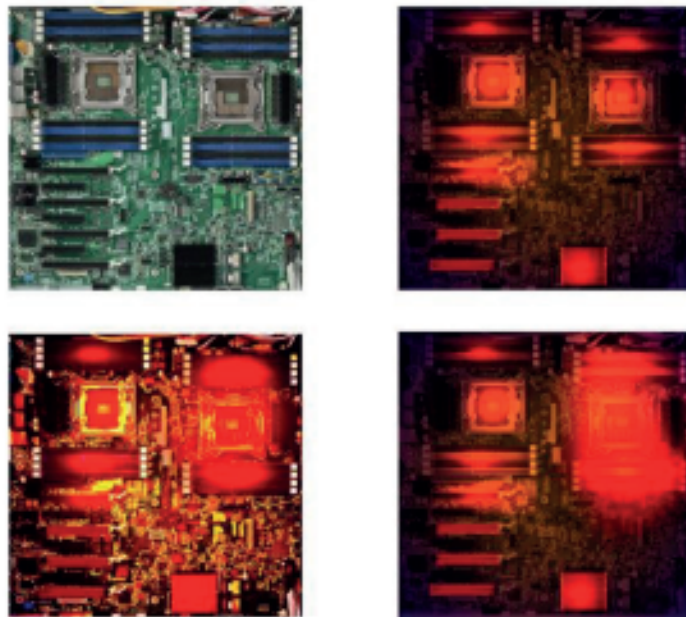


Рис. 5. Тепловизионное изображение платы в различных режимах

технического состояния на основе наличия случайных структур и использования границ диапазона достоверности [7].

Измерения напряжения, записываются в виде отдельной точки для каждой из точек карты, для которой с достаточной мерой доверия найдена сопряженная ей точка. Формулы вычисления точки измерения в трехмерном пространстве аналогичны точкам для датчиков напряженности магнитного поля.

Информация, полученная с видеокамеры представлена в виде изменения цветового диапазона точек поверхности трехмерного изображения (рис. 4), при соответствующем изменении цвета контролируемого элемента, в случаях выходов любого из параметров за пределы диапазона достоверности.

Координаты точек могут быть выражены как $r_{xyz} = M_r^{-1} M_l^{-1} R_{X_n} R_{X_b}$ [4], где $R_{X_n, Y}$ — матрица отклонений контролируемого параметра к нижней границе допуска относительно оси Y ; $R_{X_b, Z}$ — матрица отклонений контролируемого параметра к верхней границе допуска относительно оси Z области работоспособных состояний.

Матрица ковариации в глобальной системе координат задается выражением $r_\delta = M_r^{-1} M_l^{-1} \times R_{X_n, Y} R_{X_b, Z} M_\delta$, при этом значение диагональной матрицы M_δ , соответствующее осям X, Y

в локальной системе координат всех датчиков, задаются исходя из выбранного шага аппроксимации, а значение, соответствующее оси Z , задается исходя из точности конкретного датчика.

Данная модель может быть выражена математически следующим образом. Пусть занятость точки r определяется переменной состояния $Cell$, которая принимает одно из двух значений:

$Cell(r) = \{\text{занята, свободна}\}$.

Выброс — сигнал о выходе контролируемых параметров за границы диапазона достоверности (сигнал аварии), поступающий от датчика напряженности магнитного поля, тепловизора, датчика напряжения и видеокамеры в некотором направлении φ определяется переменной $Cond$:

$Cond(r, \varphi) = \{\text{сигнал аварии, сигнал нормы}\}$.

Все возможные направления φ (от 0 до 360°) разбивается на q участков, обозначаемых φ_i . Переменные состояния $Cell$ и $Cond$ объединяются через логическую операцию следования. Рассмотрим следующие допущения:

O : $Cell(r) = \text{занята}$;

R_i : $Cond(r, \varphi) = \text{выброс}$.

Тогда O выражается через R_i следующим образом:

$$R_1 \vee R_2 \vee \dots \vee R_{n-1} \vee R_n \rightarrow O. \quad (6)$$

Для определения вероятности того, что точка занята, используется байесовский метод. Для каждой точки r определяется истинность предложения O . Так как O относится к R через логическое следование, вероятность можно определить как

$$P(O) = P(R_1 \vee R_2 \vee \dots \vee R_n). \quad (7)$$

Найдем вероятности предложений O и R_i :

$$P(O) = 1 - \prod (1 - P(R_i)). \quad (8)$$

Выражение (8) может использоваться для вычисления вероятности того, что точка занята (выход контролируемого параметра за границы диапазона достоверности), если известны вероятности выбросов $P(R_i)$. При практическом применении выражение (8) может быть записано на основе формулы полной вероятности относительно значения $P(r)$.

Применим правило Байеса для определения вероятности $P(R_i / r)$ по новому измерению контролируемого параметра r :

$$P(R_i | r) = \frac{P(r | R_i) P(R_i)}{P(r)}, \quad (9)$$

где $P(R_i)$ — изначальная вероятность полученного сигнала о выбросе. В Байесовском подходе она обычно принимается равной $1/2$, так как невозможно изначально определить занята или свободна точка.

3. Модель сенсора

Значение $P(r | R_i)$ называется моделью сенсора. Модель сенсора определяет вероятность получения измерения r , если известно, что предложение R_i — истинно.

Модель сенсора $P_N(r | R_i)$ для датчика напряженности магнитного поля (НМП) можно представить следующим образом. Пусть X_i — случайная величина, характеризующая контролируемый параметр $U_{\text{днмп}}$ — напряжение, фиксируемое датчиком НМП, а $f(U_{\text{днмп}})$ — функция плотности вероятности нахождения X_i в диапазоне достоверности, тогда

$$P_N(r | R_i) = \begin{cases} 0, & \text{если } f(U_{\text{днмп}}) < 0; \\ 1, & \text{если } f(U_{\text{днмп}}) > 0. \end{cases} \quad (10)$$

При регистрации контролируемого параметра r в этом диапазоне формируется выброс. С учетом фиксации нарушения диапазона достоверности датчиком при выходе контро-

лируемого параметра из диапазона допусков одновременно двух и более элементов радиоэлектронного оборудования на решающее устройство (блок идентификации технического состояния) может поступить одновременно несколько сигналов о выбросах, а соответственно получено несколько точек в трехмерном пространстве. В общем случае, число таких точек будет пропорционально измеренной напряженности магнитного поля. Таким образом, вероятность того, что точка отображает выброс в данном направлении диапазона достоверности, обратно пропорциональна напряженности магнитного поля.

Модель сенсора $P_T(r | R_i)$ для тепловизора можно представить следующим образом. Пусть $\bar{X}_t = (\bar{x}_{t1} \dots \bar{x}_{tp})^T$ — вектор средних в t -х мгновенных выборках измерений температуры ($t = 1, \dots, m$), x_{ij} — среднее значение в t -ой мгновенной выборке по j параметру. Тогда согласно алгоритму Хотеллинга, предполагающему расчет для каждой t -ой мгновенной выборки статистики [8, 9]:

$$T_t^2 = n(\bar{X}_t - \mu_0)^T S^{-1}(\bar{X}_t - \mu_0), \quad (11)$$

где n — объем мгновенной выборки; μ_0 — вектор средних, $\mu_0 = (\mu_1, \dots, \mu_p)^T$.

При стабильном ходе процесса должно выполняться условие $T_t^2 < T_{\text{кр}}^2$, где $T_{\text{кр}}^2$ — граница диапазона достоверности. При оценивании компонент ковариационной матрицы с использованием текущих мгновенных выборок согласно (11) граница диапазона достоверности определяется:

$$T_{\text{кр}}^2 = \frac{p(m-1)(n-1)}{mn-m-p+1} F_{1-\alpha}(p, mn-m-p+1), \quad (12)$$

где $F_{1-\alpha}(p, mn-m-p+1)$ — квантиль F -распределения Фишера.

Основной критерий нарушения стабильности процесса — выход статистики Хотеллинга (11) за контрольную границу (12), то есть выход контролируемого параметра за границы диапазона достоверности, тогда

$$P_T(r | R_i) = \begin{cases} 1, & \text{если } T_t^2 < T_{\text{кр}}^2; \\ 0, & \text{если } T_t^2 > T_{\text{кр}}^2. \end{cases} \quad (13)$$

Модель сенсора $P_U(r | R_i)$ для датчика напряжения может быть описана выражением, аналогичным модели датчика НМП:

$$P_V(r|R_i) = \begin{cases} 0, & \text{если } f(U_{\text{изм}}) < 0; \\ 1, & \text{если } f(U_{\text{изм}}) > 0, \end{cases} \quad (14)$$

где $U_{\text{изм}}$ — измеренное значение датчиком напряжения.

Модель сенсора $P_V(r|R_i)$ для видеокамеры с точностью до значений вероятности можно представить следующим образом. Пусть s — цветовой спектр, соответствующий диапазону изменения оттенков (цветов) контролируемого элемента (рис. 4), находящегося в различных состояниях, а $f_\delta(s)$ — функция плотности вероятности спектра s [8], тогда

$$P_V(r|R_i) = \begin{cases} 0,3, & \text{если } f_\delta(s) < \varepsilon \wedge s < r; \\ 0,5, & \text{если } f_\delta(s) < \varepsilon \wedge s \leq r; \\ 0,95f_\delta(s), & \text{если } f_\delta(s) \geq \varepsilon. \end{cases} \quad (15)$$

Оценка классов технического состояния радиоэлектронного оборудования может осуществляться по алгоритму распознавания классов элементов контролируемого оборудования, включающего три режима работы: обучения, текущего контроля и оценки ошибок контроля. Описание действия алгоритма представлено в работе [10].

Заключение

Результаты исследования показывают, что при анализе параметрической безотказности радиоэлектронного оборудования могут быть использованы различные инструменты контроля. Для контроля значений параметров в наблюдаемой аппаратуре приведены алгоритмы, обеспечивающие повышение чувствительности к обнаружению аварийных ситуаций.

Использование разносторонних признаков позволяет повысить достоверность принятия решения о работоспособности радиоэлектронного оборудования.

Представленный способ контроля технического состояния радиоэлектронного оборудования на основе комплексирования показаний нескольких типов датчиков может быть использован для создания универсального автоматизированного комплекса контроля, позволяющего оценивать с высокой достоверностью работоспособность широкой номенклатуры РЭО ВВСТ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Волков Л. И. Управление эксплуатацией летательных комплексов. — М.: Высшая школа. — 1987. — 400 с.
2. Винограденко А. М. Решение задачи помехоустойчивой передачи телеметрической информации методом расчета параметрической безотказности / Сборник материалов межвузовской НТК курсантов и молодых ученых. — 2009. Ч. 1. — С. 292–298.
3. Патент РФ № 96676. Система для контроля параметров технологических объектов. / Винограденко А. М., Федоренко И. В. Опубликовано 09.03.2010.
4. Денисов А. В., Крушин Д. С., Файзрахманов Р. А. Моделирование ближайшего окружения многофункциональной роботизированной платформы на базе совместных показаний нескольких типов датчиков // Информационно-измерительные и управляющие системы. — 2017. Т. 15. № 9. — С. 11–17.
5. Патент РФ № 2548602. Способ и устройство автоматизированного контроля технического состояния электрооборудования. / Будко П. А., Литвинов А. И., Винограденко А. М. Опубликовано 20.04.2015.
6. Будко П. А., Будко Н. П., Литвинов А. И., Винограденко А. М. Экспериментальные исследования

кинетического метода контроля и диагностики технических средств // Мехатроника, автоматизация и управление. — 2014. — № 8 (162). — С. 37–44.

7. Будко П. А., Литвинов А. И., Гойденко В. К., Кишлицина Е. К. Методы неразрушающего контроля в диагностике состояния сложных технических объектов // Техника средств связи. 2018. № 4. С. 51–59.

8. Клячкин В. Н., Карпунина И. Н., Федорова М. К. Оценка стабильности температурного режима компьютера // Автоматизация процессов управления. — 2016. — № 3 (45). — С. 58–64.

9. Клячкин В. Н., Кравцов Ю. А., Жуков Д. А. Оценка эффективности диагностики состояния объекта по наличию неслучайных структур на карте Хотеллинга // Автоматизация процессов управления. — 2015. — № 1 (39). С. 50–56.

10. Будко П. А., Жуков Г. А., Винограденко А. М., Гойденко В. К. Определение аварийного состояния морского робототехнического комплекса по многоэтапной процедуре контроля на основе использования вейвлет-преобразований // Морская радиоэлектроника. — 2016. — № 4 (58). — С. 2–7.

П. А. Будко

Доктор технических наук, профессор, ученый секретарь ПАО «Интелтех»

А. М. Винограденко

Кандидат технических наук, доцент, докторант,
Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного

В. К. Гойденко

Адъюнкт, Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного

А. В. Меженев

Адъюнкт, Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного

РЕАЛИЗАЦИЯ СПОСОБА МНОГОУРОВНЕВОГО КОМПЛЕКСНОГО КОНТРОЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ СИСТЕМЫ

АННОТАЦИЯ. Предложено устройство для реализации способа многоуровневого комплексного контроля технического состояния радиоэлектронной аппаратуры, основанного на комплексировании измерительной информации, поступающей от нескольких типов датчиков, что позволяет повысить достоверность результатов идентификации технического состояния радиоэлектронного оборудования и расширить область применения технических средств контроля и диагностики.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: контроль, диагностика, идентификация, класс технического состояния, объект контроля, дефект.

Введение

Воздействующие на радиоэлектронные системы (РЭС) различные внутренние и внешние факторы неизбежно вызывают постепенное изменение характеристик ее элементов, а в конечном итоге и ее работоспособности. Трудоемкость и временные затраты на выявление и устранение дефектов в местах их возникновения достаточно велики. На данный момент при растущей сложности современных радиоэлектронных систем, увеличении числа контролируемых параметров, миниатюризации размеров элементов, а также низкого уровня использования систем, выполняющих функции прогнозирования и диагностирования предаварийного состояния, актуальными являются задачи прогнозирования отказов в рабочем режиме, снижения времени восстановления, уменьшения

ресурсов сил и средств, требуемых для диагностирования, что возможно достичь при использовании неразрушающих методов контроля и диагностики.

В статье предложены способ и устройство комплексного контроля и диагностики радиоэлектронных модулей образцов вооружения, военной и специальной техники, основанный на комплексировании измерительной информации, поступающей в реальном режиме времени от тепловизора, датчика напряженности магнитного поля, датчика напряжения и датчика влажности.

Реализация заявленного способа опирается на использование неразрушающих методов контроля и диагностики, применяемых в различных отраслях промышленной электроники и электротехники [1–3]. Так известен способ распределенного контроля и адаптивного

управления многоуровневой системой [3], однако его недостатком является то, что в процессе выработки управляющего воздействия постоянно используется вся доступная измерению информация, что в распределенной системе (на глобальном контуре контроля) не только вызывает избыточность измерительной информации, но и приводит к тому, что в процессе функционирования сети (измерительной сети, сенсорной сети) все измерительные средства находятся в активном состоянии.

Также известны устройства, реализующие неразрушающие виды контроля [4–6], например устройство автоматизированного контроля технического состояния электрооборудования [6], однако их недостатками являются: относительно высокая вероятность ошибки при измерении малых отклонений параметров контролируемых электроустановок от нормы в рабочих режимах, это приводит к тому, что отклонение контролируемого параметра от нормы может быть не зафиксировано; идентификация отклонений контролируемых параметров от нормы только по одному признаку (напряженность магнитного поля). Этим объясняется низкая достоверность результатов идентификации технического состояния контролируемого объекта. Кроме того, отмечается относительно большее время поиска неисправности, поскольку для выбора оптимального источника измерительной информации (датчика, сенсора) из числа заданных необходимо осуществить последовательный контроль всех существующих источников, а также необоснованность выбора оптимального датчика, обусловленная тем, что при этом предварительный контроль с учетом различных состояний объектов контроля отсутствует [6].

Кроме промышленной электроники и электротехники неразрушающие методы контроля активно применяются и в отрасли телекоммуникаций [7–9]. К недостаткам блоков принятия решения таких устройств [9] относятся: высокая вероятность отказа в обслуживании, вызванная тем, что назначение порогов срабатывания системы контроля осуществляется без учета общего состояния системы и величины загрузки буферных устройств узлов коммутации каналов связи, вызывающее блокировку устройства на загруженной сети; достаточно низкую производи-

тельность и высокий коэффициент простоя, поскольку для контроля сложных технических систем и идентификации их состояния необходимо производить измерение, преобразование и обработку большого числа параметров, что нередко связано с отключением системы и ее простаиванием.

Цель статьи: предложить технические решения способа многоуровневого комплексного контроля технического состояния РЭС, позволяющего осуществлять диагностику предаварийного и аварийного состояния в режиме on-line.

Достижимость технического результата

Техническим результатом, достигаемым с помощью предложенных способа многоуровневого комплексного контроля технического состояния РЭС, устройства для его осуществления и блока принятия решения, рис. 1, является:

- повышение достоверности результатов идентификации технического состояния объектов контроля;

- расширение области применения технических средств контроля и диагностики;

- определение классов технических состояний объектов контроля;

- идентификация отклонений параметров контролируемых объектов от нормы по нескольким признакам (температура, напряженность магнитного поля, напряжение, влажность и др.);

- снижение избыточности измерительной информации в системе контроля.

При рассмотрении способа многоуровневого комплексного контроля технического состояния РЭС под термином «радиоэлектронной системы» будем понимать совокупность всего радиоэлектронного оборудования (РЭО) на всех уровнях разукрупнения, т. е. элементов радиоэлектронных систем.

Реализация способа многоуровневого комплексного контроля технического состояния радиоэлектронных систем

Предложенный способ многоуровневого комплексного контроля технического состояния РЭС, поясняется алгоритмом, представленным на рис. 2.

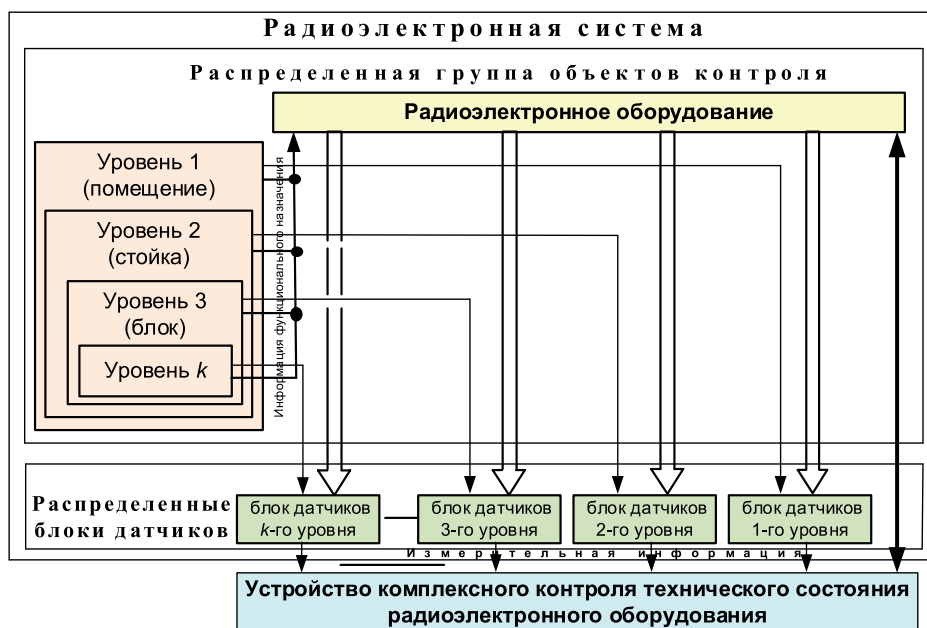


Рис. 1. Структурная схема устройства многоуровневого комплексного контроля ТС РЭС

Первым этапом способа является этап анализа, на котором:

на шаге 1 определяют исходные данные, ограничения и допущения;

на шаге 2 на k уровнях формируют пороговые значения на контролируемые параметры и устанавливают на k уровнях РЭС (платы, блока, стойки, отсеки и др.) в виде $M(k, n)$ групп диапазонов достоверности;

на шагах 3–4 для каждого контролируемого элемента радиоэлектронного оборудования, на заведомо работоспособных экземплярах, по разносторонним признакам создают их «рабочий профиль» и запоминают его в виде эталонных матриц $g_1^* \dots g_n^*$ технического состояния;

Первым этапом алгоритма метода является этап анализа, на котором:

на шаге 5 измеряют мгновенные значения сигналов, поступающих с датчиков напряженности магнитного поля, тепловизора, напряжения, видеокамеры, пропорционально изменяемым во времени напряженности внешнего магнитного поля, температуре, напряжению и цветовому спектру, создаваемых контролируемым элементом РЭС в рабочем режиме;

на шаге 6 по изменению среднего уровня результатов измерения технического состояния радиоэлектронного оборудования осуществляют построение карты Хотеллинга в виде по-

верхности точек в трехмерном пространстве, при этом каждая точка r поверхности представлена следующими величинами:

- 1) математическим ожиданием m_x положения в трехмерном пространстве r_x, r_y, r_z ;
- 2) матрицей ковариации r_δ , задающей дисперсию трехмерного нормального распределения положения точки;
- 3) вероятностью параметрического отказа $r_{отк}$;
- 4) вероятностями получения измерительного сигнала о предаварийных состояниях N элементов РЭС r_{d_i} , где $i \in 1, \dots, N$;

на шагах 7–9 оцифровывают измеренные мгновенные значения сигналов, поступающих с датчиков и запоминают в виде векторов цифровой последовательности длиной N , из которых формируют матрицу технического состояния $g_1 \dots g_n$ размерностью $N \times N$;

Вторым этапом способа является идентификация, на котором:

на шаге 10 осуществляют выбор элемента матрицы g_n текущего технического состояния радиоэлектронного оборудования;

на шаге 11 осуществляют выбор элемента эталонной матрицы g_n^* ;

на шаге 12 принимают решение на поэлементное сравнение образа исследуемой матрицы технического состояния с одним из образов эталонных матриц технического состояния,

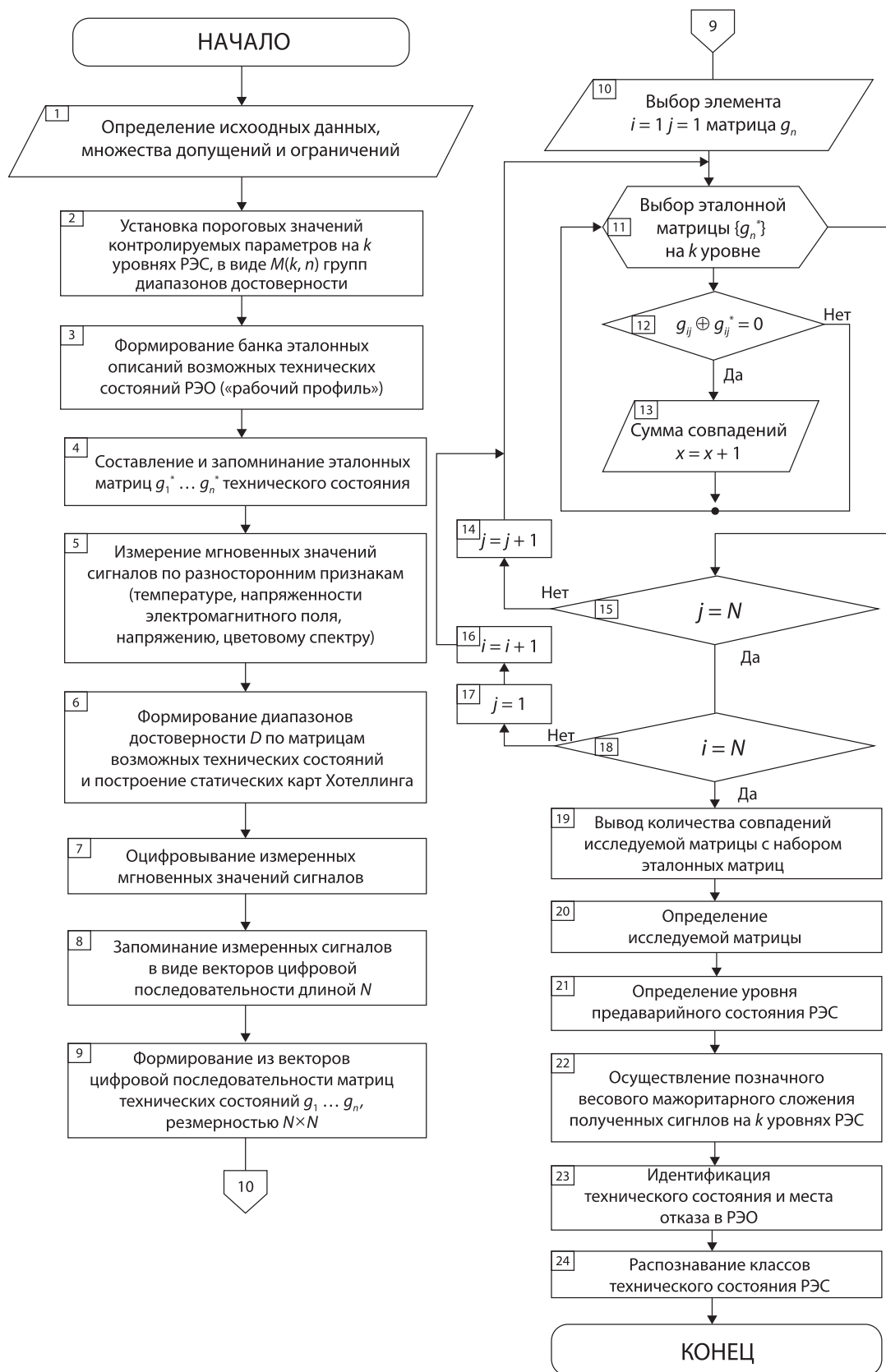


Рис. 2. Алгоритм, реализующий способ многоуровневого комплексного контроля ТС РЭС

соответствующего исследуемой. При этом под сравнением понимается операция сложения по модулю два информационных содержаний сравниваемых элементов матриц;

на шаге 13 при совпадении значений в элементах сравниваемых матриц происходит суммирование числа совпадений;

на шаге 14–18 осуществляется сравнение элементов матриц снизу–вверх и слева–направо;

на шаге 19 осуществляют отображение количества совпадений элементов исследуемой матрицы с набором элементов эталонных матриц, $i = N, j = N$ (шаги 15, 18), после того, как будет оценен последний элемент сравниваемых матриц;

на шаге 20 определяется матрица по наибольшему числу совпадений исследуемой матрицы g_n с одной из эталонных матриц технического состояния g_n^* ; при условии, что совпало не менее 99% от общего количества элементов матриц технического состояния;

на шаге 21 определяют уровень предаварийного состояния контролируемого элемента радиоэлектронного оборудования, идентифицируемый скоростью выхода контролируемого параметра за пределы диапазона достоверности;

на шаге 22 принимают решение о полученной измерительной информации, путем позначного весового мажоритарного сложения r_n сигналов измерительной информации, поступивших с весовыми коэффициентами от j типов датчиков, находящихся на k уровнях РЭО;

на шаге 23 оценивают состояние системы в несколько этапов, причем на первом этапе, используют локальную информацию о состояниях каждого элемента k -го уровня радиоэлектронного оборудования, по которой обнаруживают путем сравнения с диапазоном достоверности нарушение заданного режима функционирования (нормальное или аварийное состояние); на последующих этапах оценки, определяют уровень предаварийного состояния контролируемого объекта, путем измерения всей доступной измерению информации на региональном (глобальном) уровне. Этапы прохождения оценки РЭО представлены в вероятностном графе состояния системы (см. рис. 3). Идентифицируют место отказа элемента РЭО;

на шаге 24 осуществляют распознавание классов технического состояния радиоэлектронного оборудования, согласно алгоритма (см. рис. 4).

Алгоритм имеет три этапа работы: обнаружения отказа радиоэлектронного оборудования, идентификации ошибок контроля (на каждом из k уровней радиоэлектронного оборудования) и распознавания класса технического состояния радиоэлектронного оборудования. На последнем, завершающем, этапе алгоритма выделены финальные вероятности состояния РЭО, по которым определяются классы его технического состояния, означающие:

«1» — система заблокирована, отказ обнаружен и распознан;

«2» — система работоспособна, ложное обнаружение и распознавание;

«3» — система заблокирована, отказ обнаружен, но не распознан;

«4» — система работоспособна, ложное обнаружение не распознано;

«5» — система заблокирована, отказ не обнаружен;

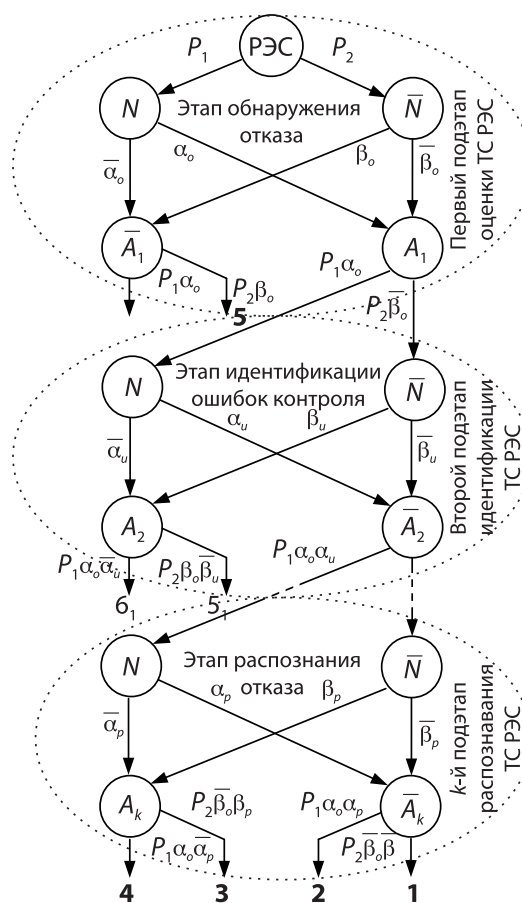


Рис. 3. Вероятностный граф распознавания технических состояний РЭО, реализующий поэтапный принцип принятия решения

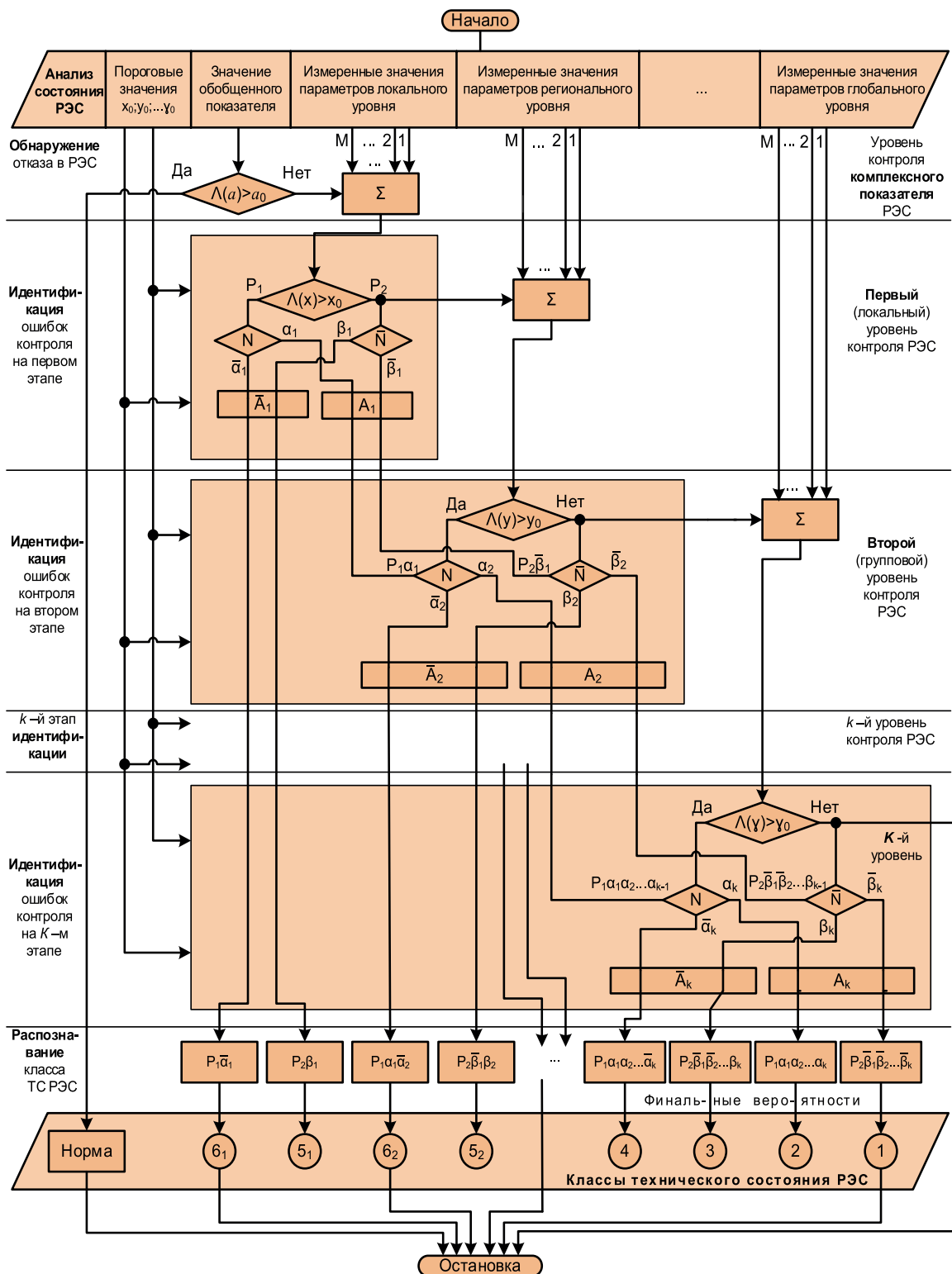


Рис. 4. Вероятностный граф распознавания технических состояний РЭО, реализующий поэтапный принцип принятия решения

«б» — система работоспособна, признана работоспособной.

Причем, на рис. 3 и 4 классы технического состояния «1...4» радиоэлектронного оборудования относятся к завершающему этапу контроля, а классы «5₁», «б₁», «5₂», «б₂», ... — к каждому из уровней (1, 2, ...) (этапу).

Для Заказчика наиболее предпочтительным являются класс «б», когда система работоспособна и признана работоспособной. Следующим по предпочтению идет класс технического состояния «1» — система заблокирована, отказ обнаружен и распознан. Математически вариационный ряд предпочтений классов технического состояния радиоэлектронного оборудования — можно записать:

«б» > «1» > «4» > «2» > «3» > «5».

В качестве исходных данных алгоритма используются: пороговые значения (допуски) на параметры элементов РЭО, используемых на

различных k уровнях его функционирования; значение обобщенного показателя качества; измеренные значения параметров подсистем на каждом из уровней разукрупнения РЭС (локальный, групповой, глобальный); априорное состояние РЭС.

Реализация устройства многоуровневого комплексного контроля технического состояния радиоэлектронного оборудования

Предложенное устройство многоуровневого комплексного контроля технического состояния РЭО, показанное на рис. 5, состоит из источника тока 1, блока датчиков 2, радиоэлектронного оборудования 3, блока обработки сигналов 4, блока принятия решения 5, блока управления 6 и блока вывода информации 7. Причем первый и второй выходы источника тока 1 подключены к силовым входам блока

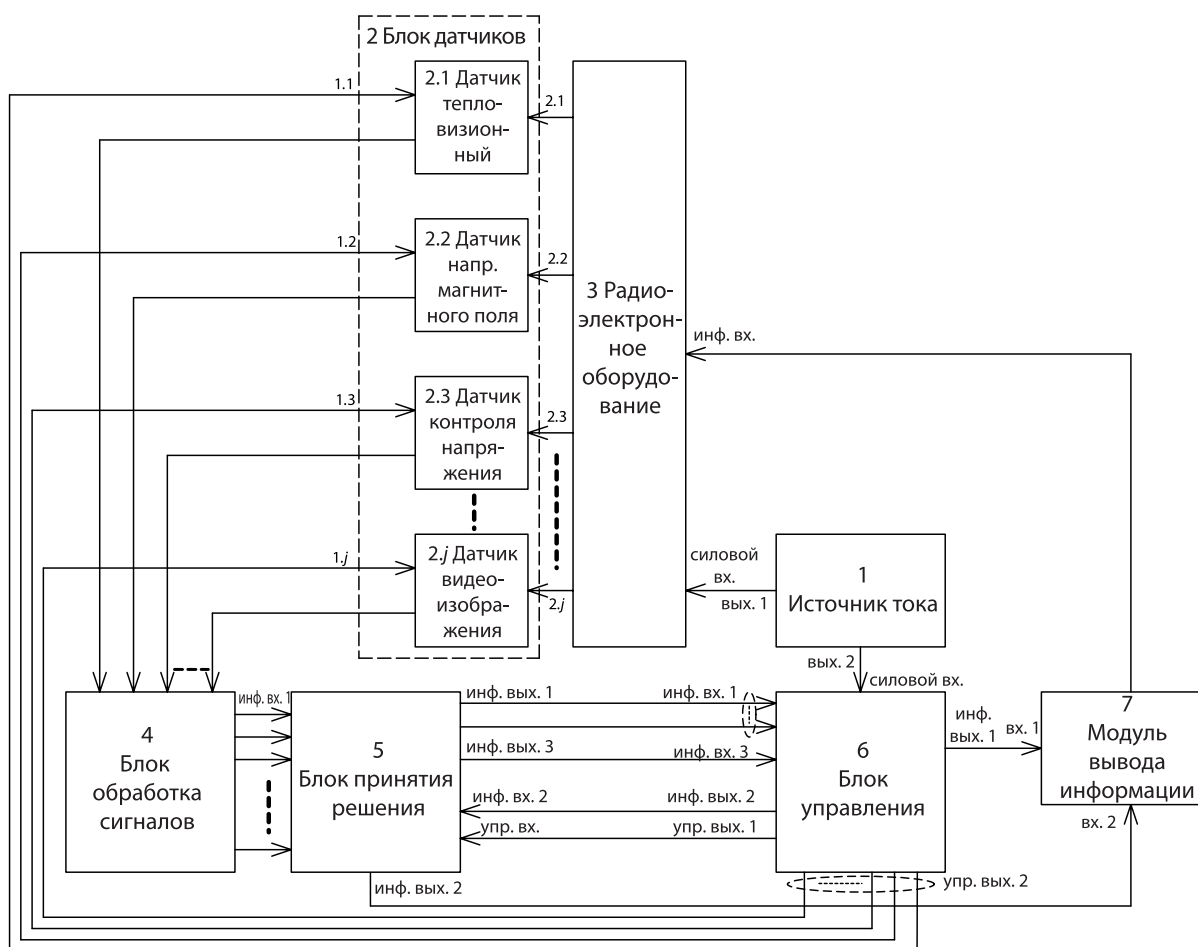


Рис. 5. Функциональная схема устройства комплексного контроля ТС РЭО

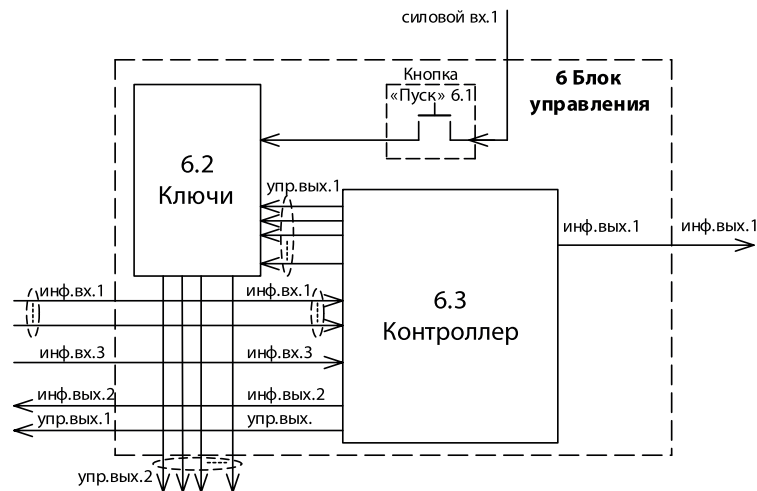


Рис. 6. Принципиальная схема блока управления

управления 6 и радиоэлектронного оборудования 3, технологические выходы которого связаны со входами 2.1, 2.2, 2.3, ..., 2.j, блока датчиков и являются одноименными входами соответственно датчика тепловизионного 2.1, датчика напряженности магнитного поля 2.2, датчика контроля напряжения 2.3, ... и датчика видеоизображения 2.j. Выходы с каждого из перечисленных датчиков поступают на соответствующие входы блока обработки сигналов 4 и далее подключены к группе первых информационных входов блока принятия решения 5, второй информационный и управляющий входы, а также группа первых и третий информационные выходы которого поступают соответственно на второй информационный и управляющий выходы и группу первых и третий информационные входы блока управления 6, который своими 1, 2, ..., j выходами второй управляющей группы связан соответственно с 1.1, 1.2, ..., 1.j управляющими входами блока датчиков 2, поступающими на входы соответствующих датчиков 2.1, 2.2, 2.3, ..., 2.j. При этом первый информационный выход блока управления 6 соединен с блоком вывода информации 7, второй вход которого связан с одноименным информационным выходом блока принятия решения 5, а информационный вход соединен с РЭО 3.

Источник тока 1 предназначен для обеспечения электропитания радиоэлектронного оборудования постоянным током.

Блок датчиков 2 предназначен для измерения различными способами (индуктивным и тепловизионным способами, электрически и визуальными, и др.) уровня сигнала, пропорционального изменяющимся во времени соответствующим параметрам, характеризующим РЭО 3 в рабочем режиме.

Радиоэлектронное оборудование 3 предназначено для передачи и приема информации на расстоянии по радиоканалу при помощи электромагнитных сигналов. Является объектом контроля технического состояния.

Блок обработки сигналов 4 предназначен для обработки и преобразования поступающего с блока датчиков 2 сигналов в вектора цифровых последовательностей, из которых формируют матрицу технического состояния g.

Блок принятия решения 5 предназначен для двухэтапной оценки технического состояния РЭО 3 и определению места отказа по информационным сигналам, поступающим с блока обработки сигналов 4.

Блок управления 6 предназначен для управления работой и подачи управляющих импульсов в основные блоки устройства многоуровневого комплексного контроля технического состояния радиоэлектронного оборудования. Он может быть реализован различными способами, например, показанным на рис. 6.

Блок управления 6 состоит из кнопки «Пуск» 6.1, вход которой является силовым входом блока, а выход подключен к силовому

входу ключей 6.2, группа вторых управляющих выходов которых является выходом блока, а группа первых управляющих входов подключена к группе первых управляющих выходов контроллера 6.3, первый и второй информационные выходы, управляющий выход, группа первых информационных входов и третий информационный вход которого являются соответственно первым и вторым информационными выходами, управляющим выходом, группой первых информационных входов и третьим информационным входом блока.

Кнопка «Пуск» 6.1 предназначена для подачи напряжения на ключи 6.2 для запуска блока датчиков 2.

Ключи 6.2 предназначены для включения (отключения) датчиков, блока датчиков 2, по управляющему воздействию контроллера 6.3.

Контроллер 6.3 предназначен для формирования управляющего сигнала, подаваемого на ключи 6.2 для включения (отключения) «избыточных» датчиков, а также формирования результирующей информации, выводимой на модуль вывода информации, по аварийному или предаварийному состоянию контролируемого радиоэлектронного оборудования 3.

Модуль вывода информации 7 предназначен для отображения информации идентифицированного технического состояния и места отказа в радиоэлектронном оборудовании 3.

Реализация блока принятия решения

Блок принятия решения 5 состоит: из модуля регистров записи 5.1, в который входят j регистров записи знаков (5.1.1, 5.1.2, ..., 5.1. j); модуля установки весовых коэффициентов 5.2, в который входят j схем установки весовых коэффициентов (5.2.1, 5.2.2, ..., 5.2. j); модуля весовых множителей, в который входят j схем весовых множителей (5.3.1, 5.3.2, ..., 5.3. j); модуля идентификации технического состояния 5.4 и модуля весового мажоритарного сложения знаков 5.5. Функциональная схема предложенного блока принятия решения 5 показана на рис. 7.

На схеме показаны 1, 2, ..., j регистры записи знаков 5.1.1, 5.1.2, ..., 5.1. j , первые входы которых образуют группу первых информационных входов блока 5, группы вторых выходов каждого из 1, 2, ..., j регистра соединены с входами 1, 2, ..., j схем установки весовых коэффициентов 5.2.1, 5.2.2, ..., 5.2. j , выход каждой из которых

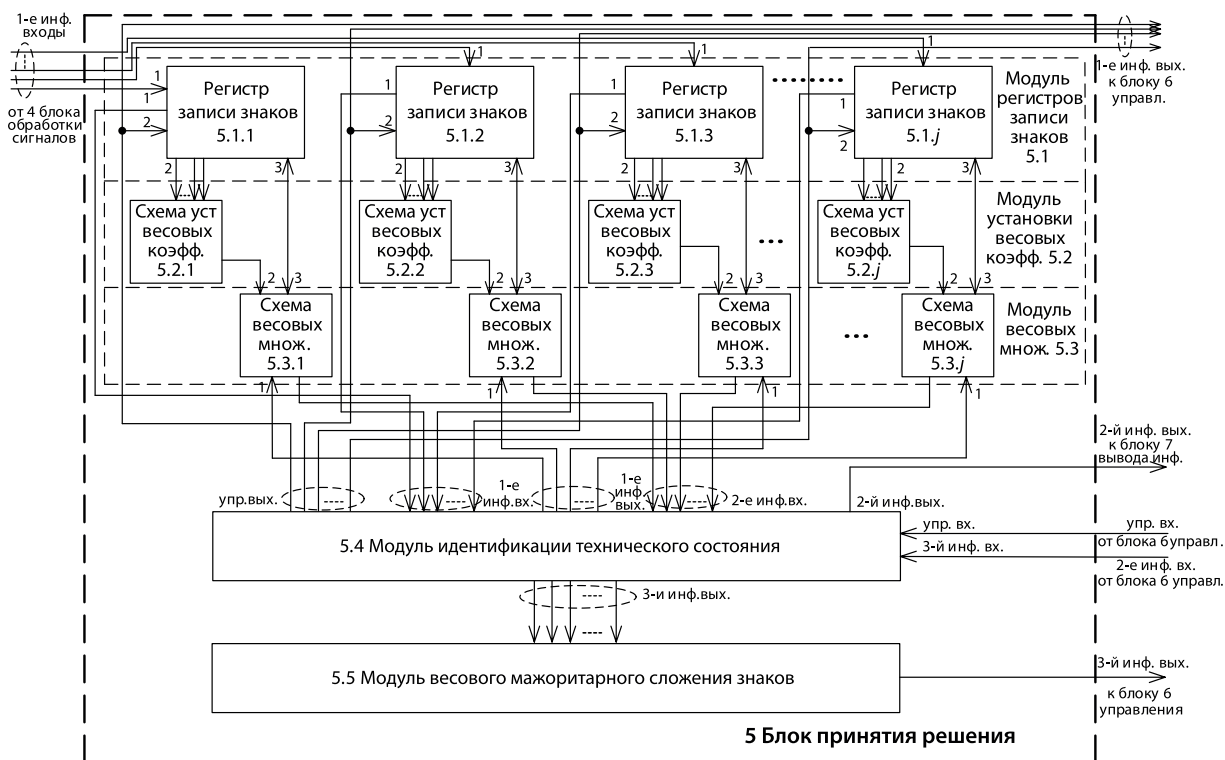


Рис. 7. Функциональная схема блока принятия решения

подключен ко второму входу соответствующей 1, 2, ..., j схеме весовых множителей 5.3.1, 5.3.2, ..., 5.3. j . При этом третьи входы/выходы каждой из схем весовых множителей 5.3.1, 5.3.2, ..., 5.3. j подключены к третьим выходам/входам соответствующих 1, 2, ..., j регистров записи знаков 5.1.1, 5.1.2, ..., 5.1. j , вторые входы которых объединены в группу первых информационных выходов блока 5 и соединены с соответствующими выходами группы управляющих выходов модуля идентификации технического состояния 5.4, третьи информационные выходы которого являются входами модуля весового мажоритарного сложения знаков 5.5, а выход которого является третьим информационным выходом блока 5. В свою очередь, каждый из группы первых информационных входов модуля идентификации технического состояния 5.4 соединен соответственно с первым информационным выходом своего регистра записи знаков 5.1.1, 5.1.2, ..., 5.1. j , каждый первый информационный выход которых объединен в группу первых информационных входов блока 5. Каждый из группы первых информационных выходов модуля идентификации технического состояния 5.4 поступает соответственно на первый информационный вход соответствующих схем весовых множителей 5.3.1, 5.3.2, ..., 5.3. j , выходы которых объединены в группу вторых информационных входов модуля 5.4, управляющий и третий информационный входы, а также второй информационный выход которого являются управляющим и третьим информационным входом, а также вторым информационным выходом блока принятия решения 5.

Регистры записи знаков 5.1.1–5.1. j предназначены для записи векторов цифровых последовательностей, формируемых из сигналов, поступающих с блока обработки сигналов 4.

Схемы установки весовых коэффициентов 5.2.1–5.2. j предназначены для хранения критических значений параметров, контролируемого РЭО 3.

Схемы весовых множителей 5.3.1–5.3. j предназначены для сравнения векторов цифровых последовательностей, поступающих с регистров записи знаков 5.1.1–5.1. j , и критических значений измеряемых параметров РЭО.

Модуль идентификации технического состояния 5.4 предназначен для поэлементного сравнения исследуемой матрицы технического состояния g , с эталонными матрицами техни-

ческого состояния g_m , где $m = 1, 2, \dots, M$, а M — число возможных технических состояний РЭО 3, хранящихся в элементе памяти эталонных параметров 5.4.4 блока, анализа числа совпадений сравниваемых матриц g_m , идентификации технического состояния РЭО 3 по наибольшему числу совпадений элементов сравниваемых матриц. Он может быть реализован различными способами, например, показанным на рис. 8.

Модуль идентификации технического состояния 5.4 состоит из генератора стробирующих импульсов 5.4.1, вход которого является управляющим входом модуля, а выход подключен к входу вычислителя 5.4.2, управляющие выходы которого являются управляющими выходами модуля, а информационный выход подключен к вторым входам 1, 2, ..., j реверсивных регистров 5.4.5.1, 5.4.5.2, ..., 5.4.5. j , первые входы которых являются вторыми информационными входами модуля, а третьи входы подключены к выходу компаратора 5.4.3, группа первых входов которого является группой первых информационных входов модуля, а второй вход подключен к выходу элемента памяти эталонных параметров 5.4.4, вход которого является третьим информационным входом модуля. При этом выходы каждого из 1, 2, ..., j реверсивных регистров 5.4.5.1, 5.4.5.2, ..., 5.4.5. j объединены в группу входов схемы опроса 5.4.6, группа первых и второй информационные выходы которой являются соответственно группой первых и вторым информационными выходами модуля, а группа третьих информационных выходов подключена к шифратору 5.4.7, выходы которого являются группой третьих информационных выходов модуля 5.4.

Генератор стробирующих импульсов 5.4.1 предназначен для формирования управляющих импульсов в процессе выполнения идентификации технического состояния контролируемого радиоэлектронного оборудования.

Вычислитель 5.4.2 предназначен для формирования управляющих воздействий на контроллер 6.3, на втором этапе поиска, для формирования решения по отключению (подключению) «избыточных» датчиков.

Компаратор 5.4.3 предназначен для сравнения пороговых значений с измеряемыми параметрами.

Схема памяти эталонных параметров 5.4.4 предназначена для записи «рабочего профиля» контролируемого радиоэлектронного оборудования 3.

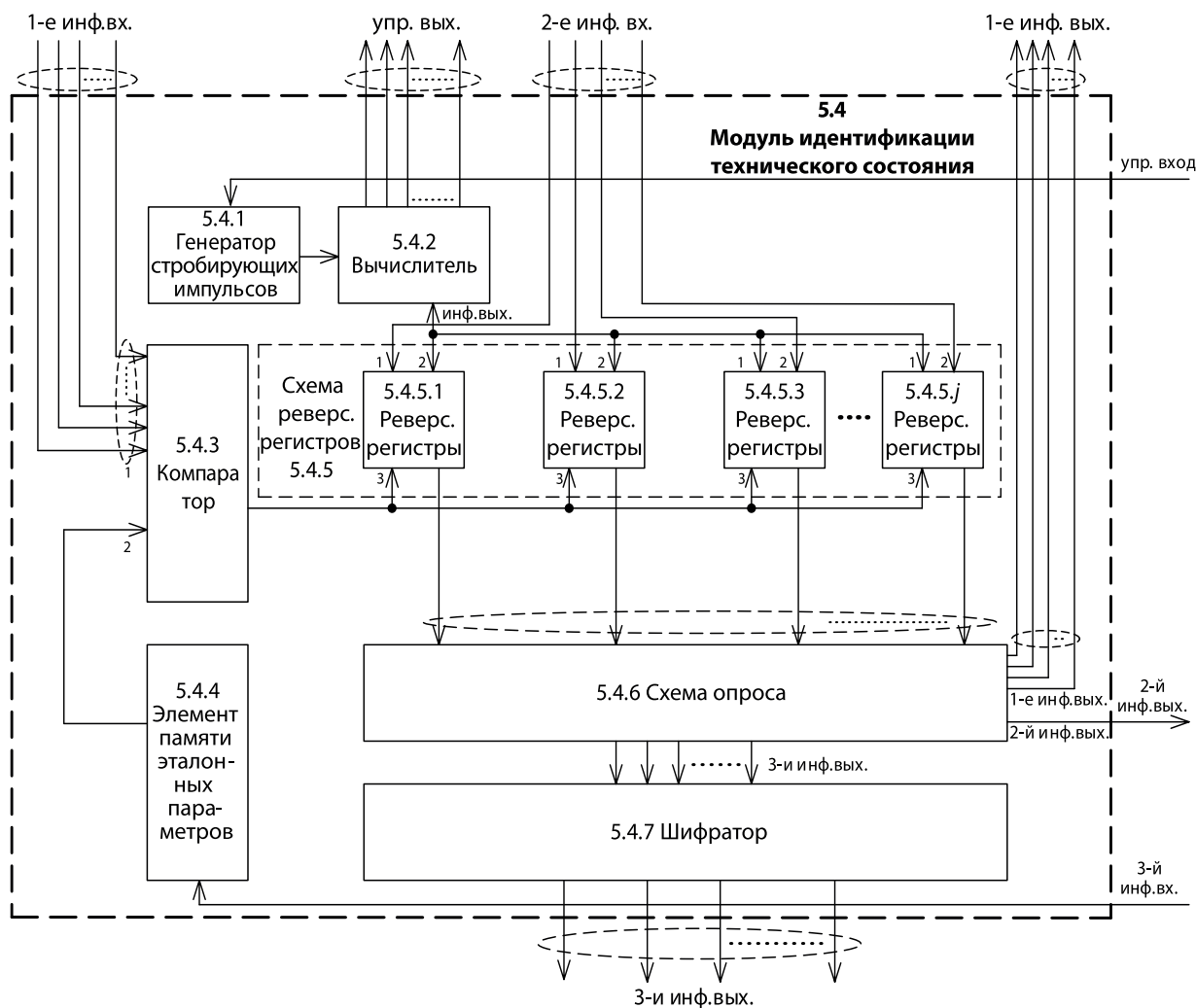


Рис. 8. Функциональная схема модуля идентификации технического состояния

Реверсивные регистры 5.4.5.1–5.4.5.j предназначены для записи информации о динамике выхода контролируемых параметров за пределы диапазона допусков.

Схема опроса 5.4.6 предназначена для регистрации сигналов, поступающих с выходов реверсивных регистров 5.4.5.1–5.4.5.j.

Шифратор 5.4.7 предназначен для преобразования сигналов, поступивших с блока опроса 5.4.6 в двоичную кодовую комбинацию, содержащую информацию о номере (типе) оптимального датчика из числа пересмотренных.

Модуль весового мажоритарного сложения знаков 5.5 предназначен для сложения x сигналов измерительной информации, поступивших с весовыми коэффициентами от j типов датчиков на k уровнях радиоэлектронного оборудо-

вания, заключающееся в вычислении значения сумм, результирующих сигналов о неисправности объекта контроля.

Осуществление метода многоуровневого комплексного контроля технического состояния радиоэлектронного оборудования

Специфика построения устройства комплексного контроля технического состояния радиоэлектронного оборудования такова, что блок, обозначенный в схеме рис. 1, как распределенная группа объектов контроля, может представлять собой отдельную подсистему в виде k -уровней (стойка, блок, консоль, ..., плата), соответствующих глобальному, региональному и локальному уровням, при этом в данном случае организуется

система контроля технического состояния на каждом уровне. Объединяющим элементом являются обозначенные в схеме распределенные блоки датчиков, позволяющие осуществлять съем измерительной информации с объектов контроля, установленных на k уровнях. Это необходимо для формирования результирующего решения о работоспособности объектов контроля, формируемого в блоках обработки сигналов 4 и принятия решения 5 (см. рис. 6). Управление процессом распределенного контроля осуществляется в блоке управления 6. С учетом этого, название метода и устройства, реализующего его подчеркивает распределенность процедуры контроля радиоэлектронного оборудования.

Заявленный метод многоуровневого комплексного контроля технического состояния РЭО и устройство, его реализующее включает этапы анализа и идентификации.

На этапе анализа в схему памяти эталонных параметров 5.4.6 записан «рабочий профиль» технического состояния РЭО 3 в виде матриц технического состояния, представляющих собой вектора цифровых последовательностей.

При подаче сигнала на силовой вход, нажатием кнопки «Пуск» 6.1 блока управления 6 питающее напряжение источника тока 1, через ключи 6.2, подается на первые входы датчиков блока датчиков 2, включая их.

Исследуемые сигналы с блока датчиков, регистрирующих изменения температуры, напряженности магнитного поля, напряжения и цветового диапазона на элементах РЭО 3, подаются на модуль обработки сигналов 4, где преобразуются в цифровую форму, а от него — на первые информационные входы регистров записи знаков 5.1. j блока принятия решения 5.

Сигналы с первого выхода регистра записи 5.3. j поступают на первые входы компаратора 5.4.3 модуля идентификации технического состояния 5.4, в котором происходит их сравнение с эталонными значениями параметров «рабочего профиля» элемента РЭО, поступающими из схемы памяти эталонных параметров 5.4.4. «Рабочий профиль» представляет собой эталонные матрицы рабочего состояния контролируемых элементов РЭО.

Матрица рабочего состояния контролируемых элементов радиоэлектронного оборудования состоит из ab ячеек памяти, соответствующих a -м и b -м уровням измеряемого сигнала, где a — критический уровень контролируемого

параметра, b — критическая скорость изменения контролируемого параметра (соответственно, a -я строка и b -й столбец условной матрицы).

В случае, если сигналы с первого входа компаратора, характеризующие текущее техническое состояние элемента радиоэлектронного оборудования, превышают a -й или a -й и b -й уровни сигнала рабочего профиля — то данный сигнал распознается как аварийный, если только b -й — то предаварийный.

Результат сравнения через реверсивные регистры 5.4.5. j поступает на схему опроса 5.4.6, в которой осуществляется поочередный опрос сигналов результата анализа.

Сигналы со статусом «авария» через второй информационный выход модуля идентификации технического состояния 5.4 поступают для немедленного отображения на блоке вывода информации 7.

Сигналы со статусом «предаварии» управляют через первый информационный выход модуля идентификации технического состояния 5.4 на первые входы схемы весовых множителей 5.3. j . По информации сигналов «предаварии» со второго выхода схемы опроса осуществляют построение карты Хотеллинга — статистического диапазона выходов контролируемых параметров за пределы доверительных интервалов, как результат мониторинга изменения среднего уровня многопараметрического процесса.

После поступления информационных сообщений (сигналов) от каждого из датчиков блока датчиков 2 в цифровой форме на соответствующие регистры записи знаков 5.1. j , данные сигналы синхронизируются через синхронизирующие выходы с весовыми коэффициентами эталонных сигналов схем установки весовых коэффициентов 5.2. j , формируя в схемах весовых множителей 5.3. j совместно с сигналами «предаварии», поступающими на первые входы регистров, матрицы $g_1...g_m$ технического состояния размерностью $H \times H$ диапазона достоверности и, своевременно корректируя его границы.

После каждого отсчета измеряемого сигнала результат в виде логической «единицы» записывается в (ab) -ю ячейку памяти регистра записи знаков 5.1. j , которая соответствует a -му и b -му уровням сигнала на выходе блока обработки сигнала 4 (a -я строка и b -й столбец условной матрицы).

На этапе идентификации сигналы с выходов схемы весовых множителей 5.3.j поступают на вторые информационные входы реверсивных регистров 5.4.5.j и информационный вход вычислителя 5.4.2 модуля идентификации технического состояния 5.4.

Если со всех схем весовых множителей 5.3.j поступают сигналы, характеризующие нормальную работу элементов радиоэлектронной системы, то с целью уменьшения избыточности измерительной информации модуля идентификации технического состояния 5.4 с выхода вычислителя 5.4.2, через первые информационные выходы блока принятия решения 5, сигнал поступает на первые информационные входы контроллера 6.3 блока управления 6, который через первые управляющие выходы отключает датчики блока датчиков 2, осуществляющие подачу «избыточной» информации.

Для обратного подключения необходимых датчиков блока датчиков 2 с управляющего выхода контроллера 6.3 блока управления 6, поступает сигнал на управляющий вход генератора стробирующих импульсов 5.4.1 блока принятия решения 5, который подает сигнал на вычислитель 5.4.2, о принятии необходимого решения по подключению датчиков.

Для поэлементного сравнения полученной на этапе анализа матрицы технического состояния с «рабочим профилем» и последующей идентификации технического состояния элементов радиоэлектронного оборудования по наибольшему числу совпадений элементов сравниваемых матриц сигналы с выходов схем весовых множителей 5.3.j поступают на вторые информационные входы реверсивных регистров 5.4.5.j.

Сигналы проходят через реверсивные регистры 5.4.5.j на схему опроса 5.4.6 в тот момент, когда на третьи входы реверсивных регистров будет подан сигнал с компаратора 5.4.3 «авария» или «норма».

С третьего информационного выхода модуля идентификации технического состояния 5.4 сигнал поступает на схему весового мажоритарного сложения знаков 5.5.

В схеме весового мажоритарного сложения знаков 5.5, с целью сокращения вычислительных операций для принятия решения о полученной измерительной информации, используют позначное весовое мажоритарное сложение r_n сигналов измерительной инфор-

мации, поступивших с весовыми коэффициентами от j типов датчиков, заключающееся в вычислении значения сумм по формуле.

$$\sum_{j=1}^{q(r_x)} K_{\dot{x}}(r) = \max \left\{ \sum_{j=1}^{q(r_1)} K(r_1), \sum_{j=1}^{q(r_n)} K(r_n) \right\},$$

При этом результирующие сигналы аварии (о неисправности объекта контроля) по численным значениям принятых сигналов аварии r_1, r_2, \dots, r_n принадлежат алфавиту из Θ разрешенных знаков (в пределах допусков). Тогда, значение r_x , соответствующее первой сумме вариационного ряда является оптимальным решением о поступившем сигнале неисправности при использовании критерия максимального правдоподобия.

Вычисление значения сумм $\sum_{j=1}^{q(r_1)} K_j(r_1)$,

$\sum_{j=1}^{q(r_n)} K_j(r_n)$ осуществляется с использованием

формулы $K_j = \ln \frac{(\Theta - 1)(1 - p_{\text{ош}j})}{P_{\text{тп}j}}$, где $p_{\text{ош}j}$ – ве-

роятность поступления «ошибочного» сигнала аварии; $p_{\text{тп}j}$ – вероятность поступления сигнала о техническом состоянии объекта контроля, находящегося в пределах допусков.

Этапы осуществления оценки радиоэлектронной системы представлены в вероятностном графе состояния системы (см. рис. 3), где $P_1 = 1 - P_2$ – априорная вероятность отсутствия аварийной ситуации;

P_2 – априорная вероятность появления аварийной ситуации;

α – ложный отказ (ошибка первого рода);

β – необнаруженный отказ (ошибка второго рода);

N – нормальная работа;

A – авария (отказ);

O – этап обнаружения отказа;

P – этап распознавания отказа;

$k = 1, 2, \dots, K$ – уровни радиоэлектронного оборудования.

При этом классы технического состояния обозначены 1, 2, ..., 5, 6, где:

$$1 = P_2 \bar{\beta}_0 \bar{\beta}_P \dots \bar{\beta}_k;$$

$$2 = P_1 \alpha_0 \alpha_P \dots \alpha_k;$$

$$3 = P_2 \bar{\beta}_0 \bar{\beta}_P \dots \bar{\beta}_k;$$

$$4 = P_1 \alpha_0 \alpha_P \dots \bar{\alpha}_k;$$

$$5 = P_2 \beta_0; \quad 6 = P_1 \bar{\alpha}_0;$$

$$5_1 = P_2 \bar{\beta}_0 \beta_P;$$

$$6_1 = P_1 \alpha_0 \bar{\alpha}_P.$$

Распознавание классов технического состояния элементов РЭО осуществляют согласно алгоритму (см. рис. 8), включающему этап обнаружения отказа РЭО, этап идентификации ошибок контроля (на каждом из k уровней РЭО) и этап распознавания класса технического состояния РЭО.

В нем в качестве исходных данных используются:

1) пороговое значение обобщенного показателя технического состояния радиоэлектронного оборудования a_0 ;

2) пороговые значения на параметры x_0^1 , y_0^2 , ..., γ_0^K элементов радиоэлектронного оборудования, используемых на различных (локальный, региональный, глобальный k -х, $k = 1, 2, \dots, K$) уровнях её функционирования;

3) измеренные значения обобщенного показателя состояния радиоэлектронного оборудования;

4) измеренные значения параметров технических устройств на каждом k -м уровне разукрупнения РЭО (локальном, региональном, глобальном).

На этапе обнаружения отказа осуществляется контроль комплексного показателя радиоэлектронного оборудования $\Lambda(a)$ и сравнение с заданным в исходных данных пороговым значением параметра a_0 . При выполнении заданного условия (например, $\Lambda(a) > a_0$) формируется сигнал о нормальном функционировании радиоэлектронного оборудования.

При невыполнении заданного условия (выходе значения обобщенного (комплексного) показателя за пределы допуска) осуществляется измерение j значений показателей технического состояния (параметров), где $j = 1, 2, \dots, J$, на локальном уровне радиоэлектронного оборудования, которые на следующем этапе сравнивают с пороговыми значениями $\Lambda(a) > a_0$ для идентификации места отказа.

По результатам сравнения определяется нормальное состояние радиоэлектронного оборудования (N) с вероятностью $P_1 = P(N)$ либо его аномальное состояние (\bar{N}) с вероятностью

$P_2 = 1 - P_1 = P(\bar{N})$. Причем идентификацию места отказа на первом (1) (локальном) уровне радиоэлектронного оборудования осуществляют с учетом ошибок первого (α_1) и второго (β_1) рода, которые соответствуют вероятности «ложной тревоги» и, «пропуску нарушения». Данные вероятности называют соответственно риском заказчика и риском потребителя.

Физический смысл ошибок первого и второго рода заключается в том, что вероятность «ложной тревоги» равна величине наступления события, когда система контроля правильно зафиксировала нормальное (N) техническое состояние РЭО (с вероятностью P_1), однако ошибочно классифицировано состояние аварии (A), и, в свою очередь, вероятность «пропуску нарушения» равна величине наступления события, когда система контроля правильно зафиксировала аномальное техническое состояние (\bar{N}) радиоэлектронного оборудования (с вероятностью P_2), но при этом в результате идентификации отказа классифицировано отсутствие аварии — (\bar{A}).

Аналогично происходит выявление нарушения работоспособности РЭО (ее аварийного состояния — A) и на последующих $k = 1, 2, \dots, K$ контурах контроля и управления РЭО (на втором (2) (региональном) уровне — A_2 , вплоть до глобального — A_K). Переход на следующий уровень идентификации отказа осуществляется при выполнении условия, что на предыдущем уровне было обнаружено аварийное состояние (A) и измеренные значения параметров данного уровня вышли за пределы установленных (заданных) допусков.

Так при обнаружении аномального состояния РЭО \bar{N} на локальном уровне осуществляется измерение значения параметров регионального уровня и сравнение их с заданными пороговыми значениями $\Lambda(a) > a_0$. При этом ошибки первого и второго рода имеют место быть на каждом уровне многоуровневой РЭО: α_2 и β_2 ; α_3 и β_3 ; ...; α_K и β_K .

На завершающем этапе распознавания класса технического состояния РЭО в результате работы системы контроля на K уровнях разукрупнения РЭО выявляются финальные вероятности состояния РЭС, показанные на рис. 3 и 4 и описанные выше.

Причем классы технического состояния «1», «2», «3», «4» многоуровневого оборудования

РЭС относятся к завершающему этапу контроля, а классы «5₁», «6₁» — присутствуют на каждом из K уровней.

Выводы

Для подтверждения возможности достижения указанного технического результата было проведено математическое моделирование, показавшее высокую эффективность заявленного способа многоуровневого комплексного контроля технического состояния РЭО и устройства его реализующего.

Достоверность результатов контроля (оценки и идентификации) технического состояния элементов РЭО D_1 в предложенных технических решениях значительно выше, чем при осуществлении аналогичного контроля объекта в прототипах [3, 6, 9].

С учетом получения измерительной информации от нескольких датчиков, где число источников не меньше 2-х, можно сделать вывод, что достоверность получения информации о техническом состоянии объекта контроля предложенных технических решений D_1 выше, чем у прототипа D_2 , причем $D_1 \gg D_2$.

Таким образом, предложенные способ многоуровневого комплексного контроля технического состояния радиоэлектронного оборудования, устройство для его осуществления и блок принятия решения обладают существенным положительным эффектом, заключающимся в повышении достоверности результатов идентификации технического состояния радиоэлектронного оборудования и расширении области применения технических средств контроля и диагностики.

ЛИТЕРАТУРА

1. Жердев Н. К., Креденцер Б. П., Белоконь Р. Н. Контроль устройств на интегральных схемах. — Киев: Техника, 1986. — С. 87.
2. Марков А. А. и др. Способ неразрушающего контроля изделий. Патент РФ № 2184373. Оpubл. 27.06.2002. Бюл. № 18.
3. Будко П. А., Винограденко А. М., Дорошенко Г. П. и др. Способ распределенного контроля и адаптивного управления многоуровневой системой. Патент РФ № 2450335. Оpubл. 10.05.2012. Бюл. № 13.
4. Сукиязов А. Г. и др. Устройство бесконтактного определения технического состояния тиристорного источника питания. Патент RU № 2185632, 20.07.2002, бюл. № 20.
5. Сукиязов А. Г. и др. Устройство бесконтактного мониторинга полупроводниковых элементов однофазных и трёхфазных мостовых выпрямителей. Патент на полезную модель № 66820. Оpubл. 20.09.2007. Бюл. № 27.
6. Будко П. А., Винограденко А. М., Литвинов А. В. и др. Способ и устройство автоматизированного контроля технического состояния электрооборудования. Патент РФ № 2548602. Оpubл. 20.04.2015. Бюл. № 11.
7. Фомин Л. А., Будко П. А. Эффективность и качество инфокоммуникационных систем. Методы оптимизации. — Москва: Физматлит, 2008. С. 146–157.
8. Николашин Ю. Л., Будко П. А., Жуков Г. А. Нейрокомпьютерный подход к решению задачи оптимизации приема информации в канале с переменными параметрами // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. — 2016. — № 1. С. 49–58.
9. Будко П. А., Винограденко А. М., Жуков Г. А., Литвинов А. И. Комплексное использование разнородных каналов связи для управления робототехническими комплексами на базе единой системы радиомониторинга // Научные технологии в космических исследованиях Земли. — 2017. — Т. 9, № 1. — С. 18–41.

Н. В. Васильев

Кандидат технических наук начальник сектора ПАО «Интелтех»

И. В. Раков

Кандидат технических наук, доцент, заместитель директора НТЦ ПАО «Интелтех»

О. В. Забродин

Инженер-программист ПАО «Интелтех»

Д. В. Куликов

Инженер-программист ПАО «Интелтех»

АНАЛИТИЧЕСКИЕ И СИНТЕТИЧЕСКИЕ OSS: АНАЛИЗ ПОДХОДОВ И МЕТОДОВ

АННОТАЦИЯ. В работе производится попытка анализа архитектуры некоторых современных систем поддержки операций *OSS* («синтетические») с выделением нового класса «аналитических» систем *OSS*, обладающего рядом особенностей, позволяющих использовать их в случае, когда применение протокола *SNMP* затруднено.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: управление, сети, топология, моделирование, томография, расстояние редактирования.

Введение

Представленные в настоящее время телекоммуникационные системы поддержки операций (*Operation Support Systems OSS*) [1] построены на основе протокола *SNMP* первой и второй версий. Требования к безопасности проектируемых решений часто запрещают использование специализированных протоколов управления. В таком случае мониторинг сводится к простому анализу доступности устройств и каналов, что совершенно недостаточно для принятия решения о качестве обслуживания в сети. Открытым остается также вопрос разработки надежных методов идентификации состояния сети «в целом», как объекта управления. В работе производится попытка анализа архитектуры некоторых современных *OSS* («синтетические») с выделением нового класса «аналитических» систем *OSS*, обладающего рядом особенностей, позволяющих использовать их в случае, когда применение *SNMP* затруднено.

1. Обзор современных *OSS*

Информационная архитектура современных систем поддержки операций исходит из реализации процесса мониторинга, включающего следующие этапы:

определение (*discovery*) структуры сети (анализ топологии);

измерение (*collect*) параметров сетевых элементов и групп элементов;

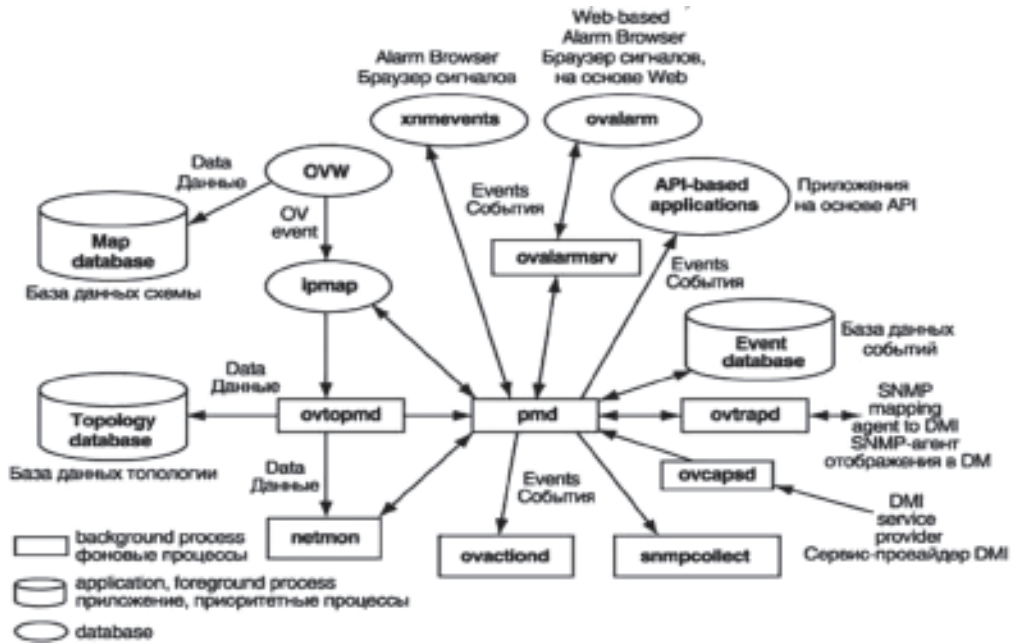
оценка состояния сети с точки зрения возможностей исполнения требуемых функций, а также определение рекомендаций к устранению возникших нарушений в работе.

После первоначального развертывания *OSS* производится анализ структуры сети, т. е. запись в базу данных системы требуемой информации о топологических отношениях между сетевыми элементами — устройствами, каналами, интерфейсами. На последующих этапах решаются непосредственно задачи управления на основе получаемых в результате измерений первичных данных.

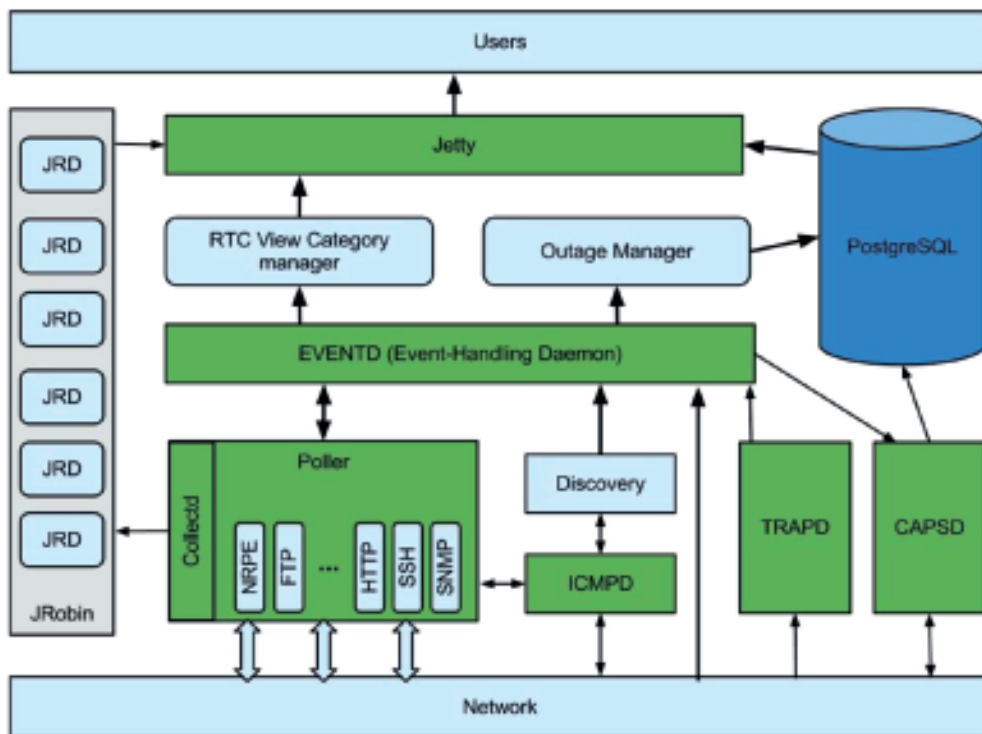
Проанализируем высокоуровневую архитектуру *OSS HP OpenView-NNM* [2], *OpenNMS* [3], а также *Huawei U2000LCT*. Во всех рассматриваемых на рис. 1 архитектурах *OSS*, центральным компонентом является компонент диспетчеризации событий, совмещенный с настраиваемым классификатором

событий, отказов и предупреждений [4]. В случае *OpenNMS* таким компонентом является процесс-диспетчер событий *EventD*, *OpenView* — процесс *PMD*, *U2000LCT* — *MRB*. Сервисы *OSS*, подключаемые к диспетчеру событий, строятся [5] по проекциям управления: отказами, конфигурацией, учетом, про-

a)



b)



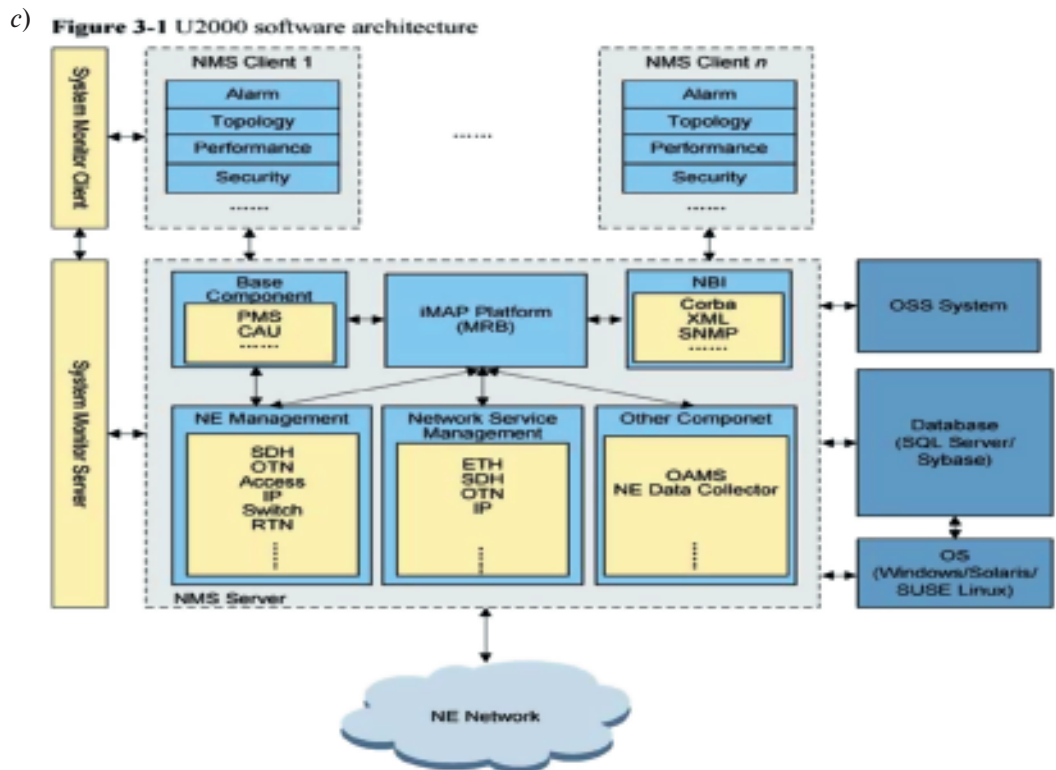


Рис. 1. Высокоуровневые архитектуры (а) HP NNM, (б) OpenNMS и (в) U2000LCT Huawei. Интеграция за счет компонента-диспетчера классифицированных событий

изводительностью, безопасностью. Можно также выделить: компонент анализа структуры сети (*ovtopmd* в *HP OpenView*, *discovery* в *OpenNMS*, *Discovery Service* в *U2000LCT*), компоненты сбора данных и *SNMP*-трапов (*OpenNMS* — *collectd* и *trapd*, *HP OpenView* — *snmp-collect* и *ovtrapd*, *U2000LCT* — *NEDataCollector*), компоненты тестирования высокоуровневых сервисов (*HP OpenView* — *ovcapsd*, *OpenNMS* — *capsd* и *poller*), компонент работы с отказами (*HP OpenView* — *ovalarm*, *OpenNMS* — *outaged*).

В рассматриваемых *OSS* четко выделяется 3-уровневая схема обработки:

данные, получаемые посредством измерений;

события (*events*), получаемые после обработки процессами сбора первичных данных при сравнении измерения с пороговым значением; отказы (*faults*) и предупреждения (*alarms*), получаемые в результате логического вывода на множестве событий (*events*).

В процессе обработки наблюдается уменьшение объема данных при переходе от данных к событиям и от событий к отказам. Данная процедура перехода регламентируется классификатором событий, который строится на основе рекомендаций М.3703 [4]. Формат передаваемых диспетчером событий в упрощенном виде показан на рис. 2.

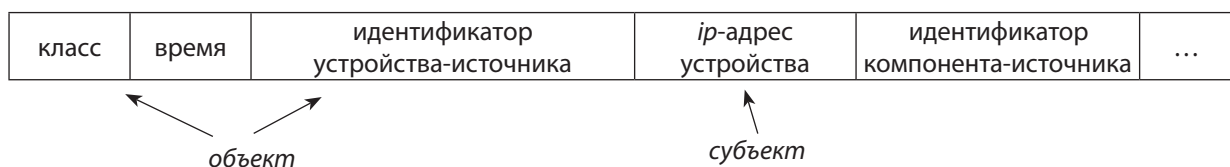


Рис. 2. Упрощенный формат события OpenNMS. Поля, относящиеся к логике коммутации событий

Помимо класса, события характеризуются временем генерации, идентификатором устройства-источника (диагностируемого), адресом, при обращении к которому было сгенерировано событие, а также идентификатором программного компонента, сгенерировавшего событие. Поля условно можно разделить на две части. Первая часть относится к объекту управления — устройству. Вторая часть к субъекту управления — агенту или компоненте, которая в системе управления производит операции над сетевым элементом. В процессе обработки событие может передаваться по цепочке (рис. 3) субъектов «устройство» — «агент» — «компонент сбора данных» — «компонент диагностики», т. е. в процессе обработки событий субъекты выстраиваются в цепочки.

Рассмотрим более подробно работу компонента диспетчеризации [6]. Каждый из компонентов, входящих в OSS может быть «подписан» на получение событий определенного класса. При возникновении в сети событий, подписчики-обработчики извещаются компонентом диспетчеризации. Механизм подписки процессов реализуется посредством таблицы «ключ» — «значение», в которой в

качестве ключа выступает класс событий, а в качестве значений список компонентов-подписчиков.

При поступлении в компонент диспетчеризации событие обрабатывается цепочкой процессоров:

процессор классификации и расширения описания события за счет подгрузки дополнительных данных из классификаторов;

процессор, осуществляющий запись события в базу данных;

процессор рассылки, осуществляющий на основе таблицы «класс события» — «подписчик» широковещательную рассылку события процессам-подписчикам.

Формат события имеет ориентацию на модель протокола управления *SNMP*. Для выполнения таких измерений достаточно лишь одного *ip*-адреса устройства и пароля доступа к устройству. Измерение на канале-маршруте, характеризуемом парой адресов, или сети, характеризуемой группой адресов, в подобный формат не укладывается и требует расширения.

В качестве процессов-подписчиков событий выступают компоненты ситуационного анализа, формирующие на основе множеств событий

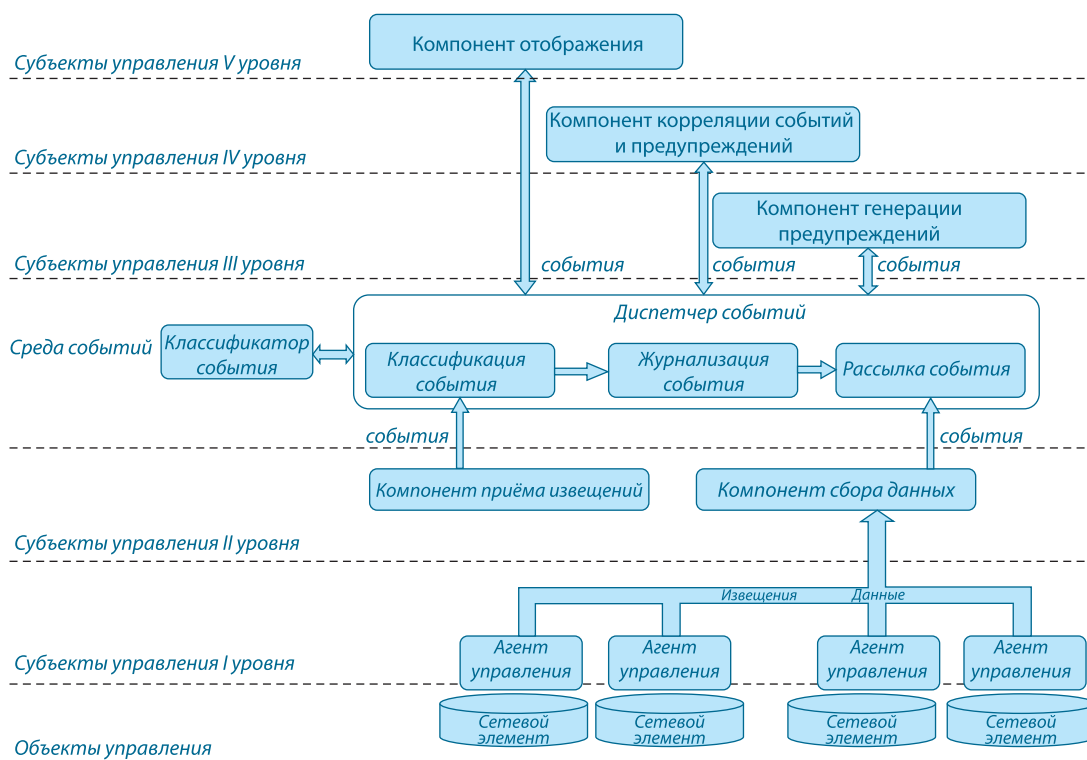


Рис. 3. Обобщенная архитектура OSS HP NNM, OpenNMS и U2000LCT Huawei

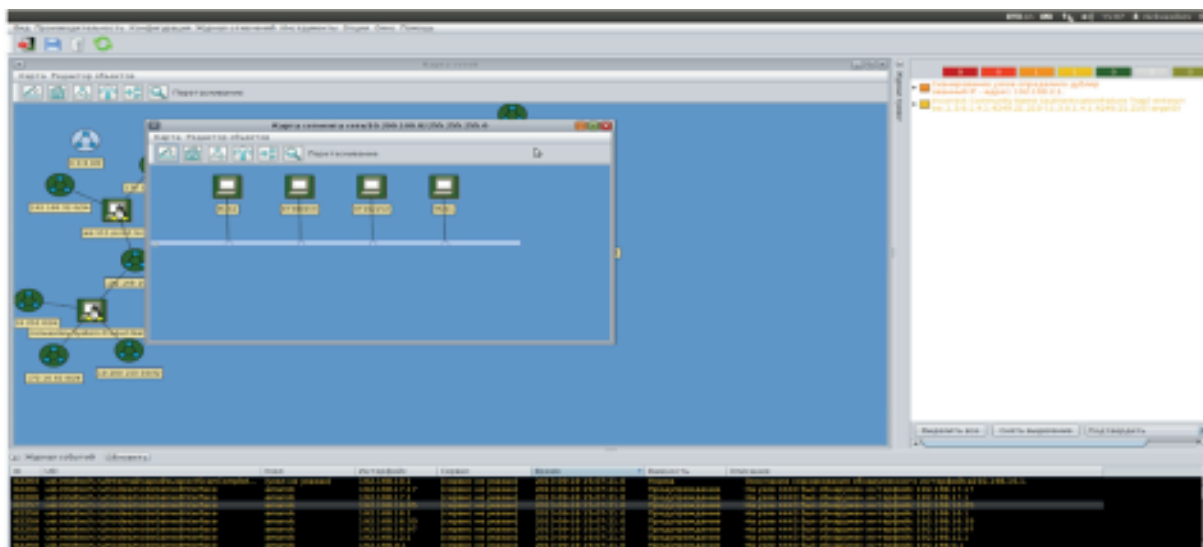


Рис. 4. Интерфейс пользователя на основе карт и символов

отказы (*faults*) и предупреждения (*alarms*), компоненты визуализации и компонент корреляции событий (*correlated*).

Механизмы корреляции событий [7] определяют первопричины сетевых проблем, отсеивая мощный поток вторичных сообщений об ошибках, что существенно уменьшает сроки поиска и устранения неисправностей. Он также автоматически обрабатывает сотни второстепенных сообщений, сводя их к нескольким действительно полезным сообщениям о работе сети.

Другим компонентом — получателем событий является компонент визуализации. В настоящее время используется [8], [9], отображающие информацию о состоянии сети при помощи карт и символов (рис. 4). Карты и суб-карты системы управления относятся между собой как атлас и его страницы. Аналогично атласу, карты, отображаемые системой управления, обеспечивают представление как сети связи целиком, так и отдельных частей данной сети. Карта представляет собой совокупность взаимосвязанных объектов, символов и суб-карт, обеспечивающих графическое и иерархическое представление сети связи в целом и отдельных частей данной сети. Карты обеспечивают отображение территориальных сетей связи, а также различных видов представления одной сети связи, необходимых оператору при решении данных задач. Например, некоторая сеть, характеризующая своей картой (например, с топологией «шина»), отображается в виде

знака-символа на карте более высокого уровня. При этом цвет знака характеризует совокупное состояние символов на соответствующей символу суб-карте. Схема вычисления состояния задается оператором при помощи правил агрегации и фильтрации событий.

2. Объектное моделирование сети

Рассмотрим подходы, используемые в *OSS* для моделирования устройств и сетей:

Common Information Model (CIM) — общая информационная модель [10], представляет собой объектно-ориентированную информационную модель (рис. 5), описываемую при помощи языка *UML*. Протокольные точки в модели *CIM* представляют собой интерфейсы доступа к некоторому сервису (например, сервису передачи (*Forwarding*) на физическом (*Interface*), канальном (*LAN*), сетевом (*IP*)) или сервису маршрутизации (*Routing*) — точка *BGP*. Протокольные точки образуют вертикальную иерархию при помощи отношения *BindsTo* (отношение использования).

Протокольные точки могут объединяться в коллекции.

Существует два основных типа коллекций: сегменты (коллекции) взаимодействия (*ConnectivitySegment*) — моделирование подсетей (на сетевом уровне), сегментов (на канальном), линков (на физическом);

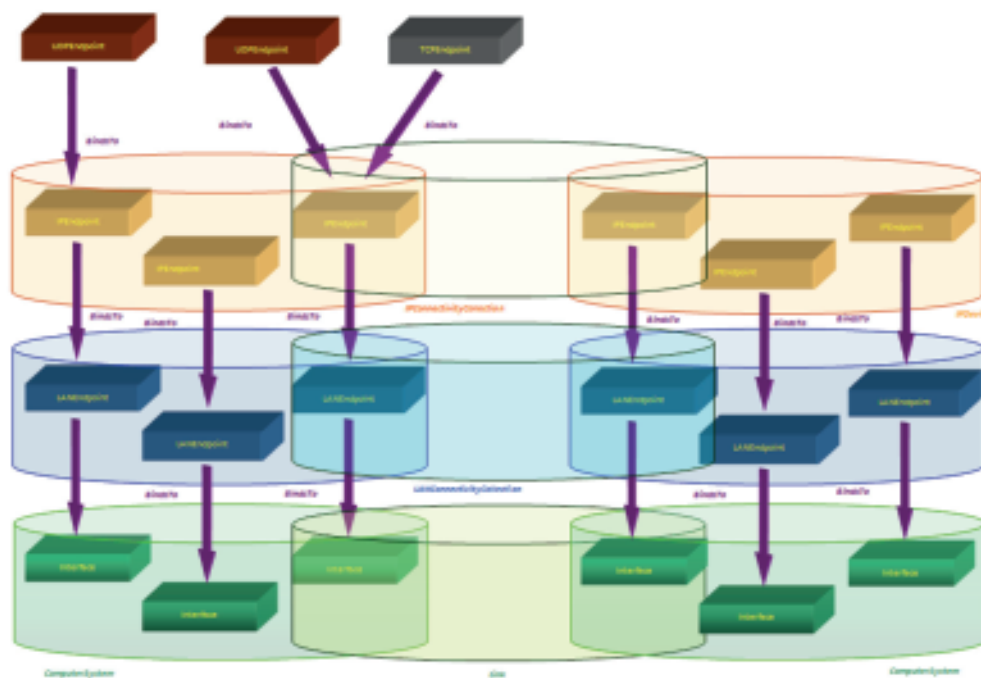


Рис. 5. CIM-модель двух взаимодействующих IP-устройств

коллекции точек устройств (*DeviceCollection*) — моделирование структуры устройства на некотором уровне модели OSI (физическом, канальном, сетевом, транспортном и т. д.).

Топология сети в модели CIM представляет собой совокупность коллекций определенного уровня OSI.

Текущая UML схема (версия 2.48.0) сетевой модели состоит из 40 страниц, общий же объем CIM более 200 страниц. Высокая выразительность в сочетании с активным развитием CIM является отрицательным свойством данного подхода. Версии моделей очень сильно различаются и, фактически, совместимы только на уровне базовых классов. А за последние годы в инфраструктурную часть CIM было внесено много существенных изменений, несовместимых с предыдущими версиями.

Generalized MultiProtocol Label Switching (GMPLS) [11] представляет собой протокол и модели, разработанные комитетом IETF для обеспечения функционирования технологии MPLS через гетерогенные сети. Данный протокол предлагает единый подход для управления многослойными сетями связи. GMPLS представляет собой развитие архитектуры MPLS, предусматривающее полное разделение плоскостей сигнализации и данных разных уровней.

Он обеспечивает бесшовное взаимное соединение и конвергенцию существующих и новых сетей, даже если исходящий и входящий узлы принадлежат к разнородным сетям. GMPLS опирается на модели адресации и маршрутизации протокола IP. Таким образом, для идентификации интерфейсов используется не только адресация IPv4 и/или IPv6, но и традиционные (распределенные) протоколы маршрутизации стека TCP/IP. Предусмотренная в GMPLS плоскость сигнализации позволяет управлять сетью за счет автоматизации установления, поддержания и разрыва соединений, управления сетевыми ресурсами и обеспечения качества услуг QoS в соответствии с требованиями новых приложений. Если на плоскости сигнализации в GMPLS применяется технология IP, то плоскость данных, или трафика, включает целый набор его типов, в том числе TDM, пакетный и др. Протокол GMPLS — открытый протокол, объединяющий все модификации MPLS и соответствующие протоколы. В силу своей открытости он способен вобрать в себя и те модификации MPLS, которые находятся в стадии стандартизации или могут появиться в будущем. По идеологии GMPLS сетевые устройства используют протокол OSPF-TE для обмена данными со своими соседями об изменении топологии.

Устройства, получившие пакет *OSPF-TE* в свою очередь ретранслируют его прочим участникам, и, таким образом, в конце процесса все устройства в сети обладают актуальной информацией о топологии сети. *IETF* в настоящее время пытается расширить *GMPLS* применительно к междоменной среде. Топологические данные в *OSPF-TE* рассылаются посредством *LSA*-пакетов. Данные, содержащихся в пакете закодированы в компактном байт-формате, с использованием специально определенных (*TLV*) контейнеров. Этот формат прост в обработке, легко обрабатываем в сетевых устройствах, но трудно экспортируем во внешние приложения.

G.805 модель, предложенная комитетом *ITU-T* для описания сетей, построенных на основе нескольких технологий [6]. Эта модель служит для теоретических целей и используется комитетом в документах (*TMN*);

Network Markup Language — Working Group (NML — WG). Рабочей группой по сетевым

измерениям (*Network Measurement Work Group*) был разработан способ представления топологии сети с ориентацией на измерения. Модель оперирует двумя основными сущностями: канал и узел. Это позволяет легко обмениваться данными топологии с внешними приложениями. Дальнейшим развитием модели *NMWWG* служит модель *cNIS*, которая служит для описания многослойных гетерогенных сетей.

Несмотря на выявленные отличия в подходах и протоколах, можно выделить некоторые общие черты. Методологически — наличие в процессе сбора данных и актуализации модели двух основных участников: собственно объекта управления (канала, интерфейса, сети) и субъекта управления (рис. 6). Субъект управления — программный агент, связанный с актуализируемой моделью протоколом управления. Иными словами, *OSS* «видит» сетевой элемент сквозь «призму» субъекта управления.

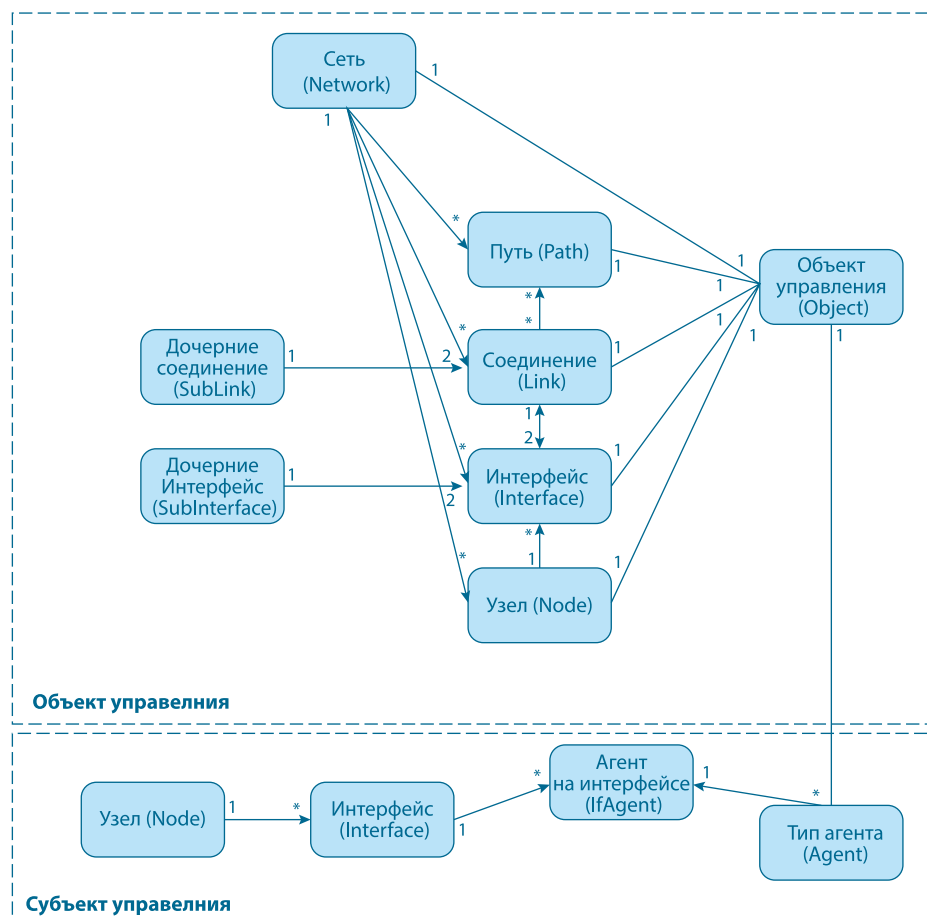


Рис. 6. Субъект-объектная модель в виде «Сущность-связь»

Конфигурация агента управления для разных типов объектов управления может быть различной. Для получения сведений о интерфейсе устройства достаточно сообщить агенту номер интерфейса, а для получения сведений о канале надо указать пару идентификаторов интерфейсов, характеризующих начало и конец. Таким образом, при конфигурировании системы сбора данных мы должны в свою очередь учитывать конфигурацию объекта управления.

Подсистемы сбора данных взаимодействует с сетевыми устройствами агентов, предоставляющих данные о состоянии отдельных компонентов (интерфейсов, каналов, подсетей). Каждый агент в *IP*-сети, как программный процесс, характеризуется парой (*IP*-адрес, номер порта). Поэтому, с точки зрения подсистемы сбора данных, сеть управления может быть представлена множеством *IP*-интерфейсов, которые могут принадлежать различным узлам и сетям. На узлах размещаются агенты управления. На одном *IP*-интерфейсе может размещаться несколько агентов, предоставляющих информацию о состоянии разных элементов устройства и формируемых каналов.

Анализ описанных выше моделей позволяет заключить, что средства управления *OSS* оперируют двумя основными типами сущностей: интерфейс (точечный объект) и соединение (точка-точка), характеризуемый последовательностью точек. Характеристики указанных объектов получают при помощи внешних измерительных средств (тестеров каналов и соединений), а также встроенных агентов тестирования маршрутов и соединений (представленных, например, *SNMP* или *NetConf*-агентами).

Можно также выделить производные групповые сущности:

«Путь» — последовательность соединений;

«Сеть» (сегмент) — совокупность интерфейсов, соединений, путей;

«Узел» — совокупность интерфейсов.

Таким образом, основными объектами измерения выступают: «Сетевой Элемент», «Интерфейс», «Соединение» («Линк»), «Путь», «Сеть», «Узел». На основании этого можно использовать следующую модель объекта управления:

«Объект управления» — базовая сущность, служащая для моделирования отношений между объектом и субъектом управления;

«Узел» — предназначен для моделирования сетевого элемента. Для данного типа сущностей характерны измерения, классифицируемые как «точечные»;

«Интерфейс» — абстракция интерфейсов различных уровней модели *OSI* (*IP*, *Ethernet*, *E1*, *SDH* — оконечная точка и пр.). Для данного типа сущностей характерны точечные измерения;

«Простое соединение» («Линк») — абстракция канального и сетевого соединений. Для данного типа сущностей характерны измерения, классифицируемые как «точка-точка»;

«Путь» — абстракция сложного соединения, состоящего из последовательности отдельных «Линков». Служит для моделирования *IP*-маршрутов, *MPLS*-туннелей, *SDH*-трактов;

«Сеть» — метаобъект — совокупность интерфейсов, соединений, путей, узлов.

3. Аналитические и синтетические *OSS*

В условиях измерения количества тактов процессора, маршрутизатора, числа принятых интерфейсом пакетов непосредственно на устройстве для принятия решения о состоянии сетей и подсетей необходимо знать не только состояние отдельных сетевых элементов, но и групп элементов в виде маршрутов и сетей различного уровня. Рассмотренные выше системы предполагают, что состояние сетевых элементов первично, в то время как состояние сетей и маршрутов может быть вычислено на основе математических моделей, описывающих поведения сетей и маршрутов. Таким образом, мы осуществляем синтез состояния групп элементов. Но первичные данные могут быть получены не только от отдельных коммутаторов и маршрутизаторов, но и от маршрутов, соединений, подсетей. В этом случае для определения состояния устройств мы должны произвести обратное разложение, анализ, от маршрутов и подсетей до сетевых элементов.

В соответствии с этим *OSS* можно разделить на два типа: синтетические системы (рис. 7 а) и аналитические системы (рис. 7 б).

Класс аналитических систем представлен пока не так широко. Здесь следует указать проект *PerfSONAR* и инициативу *CNIS*, направленные на развертывание сервис-ориентированной инфраструктуры мониторинга каналов, маршрутов и направлений.

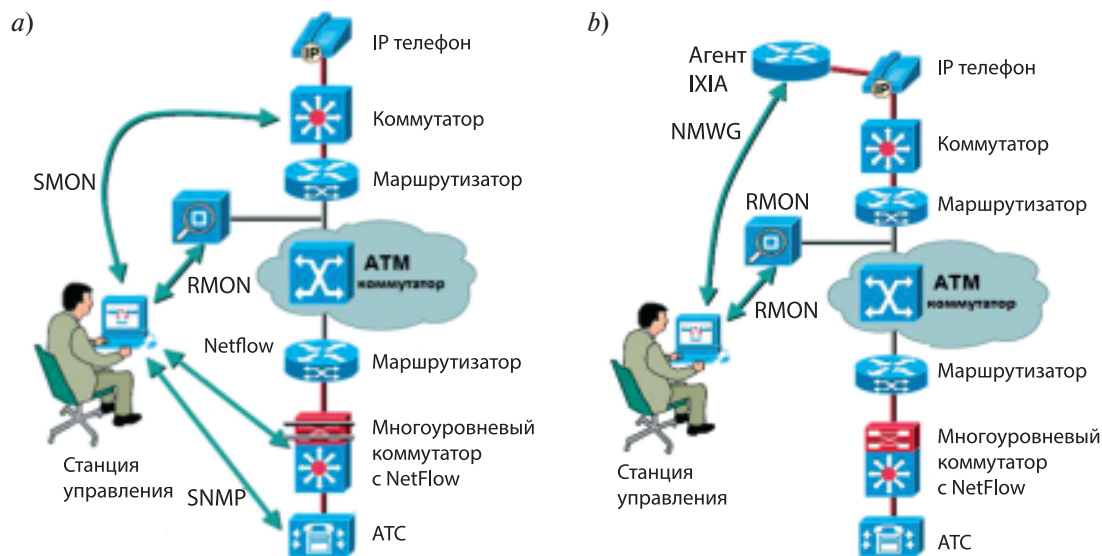


Рис. 7. Сбор данных в синтетических (a) и аналитических (b) OSS

Обобщенно, схема обработки данных в аналитических OSS имеет следующий вид:

- 1) Этап сбора и предобработки;
- 2) Этап обработки. Предварительное определение состояния, генерация событий о состоянии связанного с измеренными первичными данными маршрута или канала;
- 3) Этап предварительной диагностики. Уточнение события, определение значений незаполненных полей события при помощи классификаторов;
- 4) Логический вывод на множестве событий. Выявление первопричины возникшего отказа на основе упрощенной топологии сети, удаление избыточных событий, диагностика на основе организационной иерархии.

Различия с синтетическими системами возникают в методах сбора, а также в реализации высокоуровневых методов обработки событий. При этом для аналитических систем логического вывода заключается в обратном поиске — от совокупности следствий-событий к событиям-причинам, для синтетических систем — прямой поиск, заключающийся в вычислении состояния групп сетевых элементов по состоянию отдельных сетевых элементов.

Однако, если для выполнения прямого логического вывода необходимо привлечение продукционных моделей, весьма сложных для квалификации администратора сети, то для обратного вывода эти модели достаточно просты и могут быть созданы автоматически.

4. Информационная архитектура аналитических OSS

Имеющийся в настоящее время практический опыт реализации и внедрения систем [12, 13] позволяет обрисовать контуры промышленной аналитической OSS.

Если в синтетических OSS интегрированное представление о сети формируется через совокупность измеряемых состояний и параметров сетевых элементов, то для создания представления о сети в аналитических OSS объектами мониторинга являются каналы и маршруты передачи данных.

Такие измерения в аналитических OSS всегда выполняются в паре агентов «отправитель» — «получатель». Следовательно, необходимо покрыть сеть множеством агентов измерения, которые всегда смогут оценить состояние маршрута от узла, на котором находится агент до любого другого узла с агентом. С агентом узла взаимодействует узловая OSS, которая выполняет анализ состояния связанных с узлом каналов и маршрутов. Взаимодействие узловых OSS и сетевой OSS осуществляется при помощи событий-предупреждений (*alarms* по терминологии X.373), содержащих код (класс) проблемы, возникшей в маршруте, проходящем через узел канала, а также идентификатор объекта модели, описанной выше.

Пример схемы измерения приведен на рисунке 8.

Для реализации такого подхода при проектировании и разработке аналитических OSS предлагается 3-х уровневая программная архитектура, элементами которой являются: агенты измерения, узловые системы управления (СУ) и сетевая СУ.

Узловые СУ осуществляют сбор данных, их предобработку и диагностику неисправностей каналов и маршрутов, связывающих узел с соседними узлами. В составе узловой системы (рис. 9) можно выделить следующие компоненты:

1) Агенты контроля. Для обеспечения функционирования, необходим следующий базовый набор агентов анализа соединений:

агент контроля структуры соединений, определяющий при каждом обращении к нему компонента сбора данных последовательность промежуточных узлов между двумя окончательными узлами соединения, передаваемыми в качестве параметров;

агент контроля ширины полосы пропускания соединений, обеспечивающий измерение ширины полосы пропускания (Мбит/с);

агент контроля односторонней задержки соединения.

2) Компонент сбора данных, ответственный за обработку измерений характеристик каналов и маршрутов. Главным элементом этого модуля является планировщик проверок каналов и маршрутов. Компонент должен осуществлять выявление ошибочных измерений, связанных с технологической перекоммутацией соединений (ошибки маршрутизации), а также за классификацию состояния канала и генерацию событий, соответствующих этому состоянию. Состояние сети и канала не может быть определено по единственному измеренному вектору параметров. Невозможно рассматривать канал изолированно, без учета влияния других компонентов системы. Если в канале наблюдается тенденция к деградации, то она будет заметна при проведении серии измерений с небольшим интервалом. Простое сравнение с порогом, используемое в синтетических системах для анализа состояния элементов устройств (процессоров, памяти, интерфейсов) здесь не применимо, поскольку не ясно по какому измерению (по счету) осуществлять принятие решения. Применение функций агрегации среднего может «скрыть» важные для принятия решения измерения в серии. В то же время не ясно как агрегация

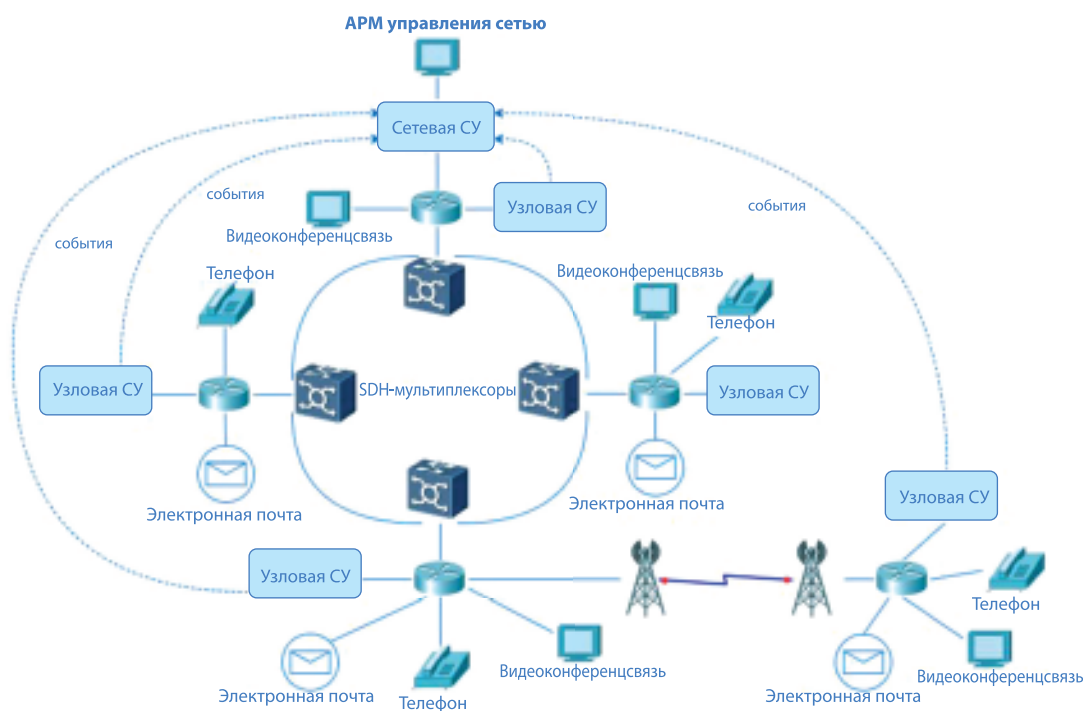


Рис. 8. Схема измерений в аналитической OSS

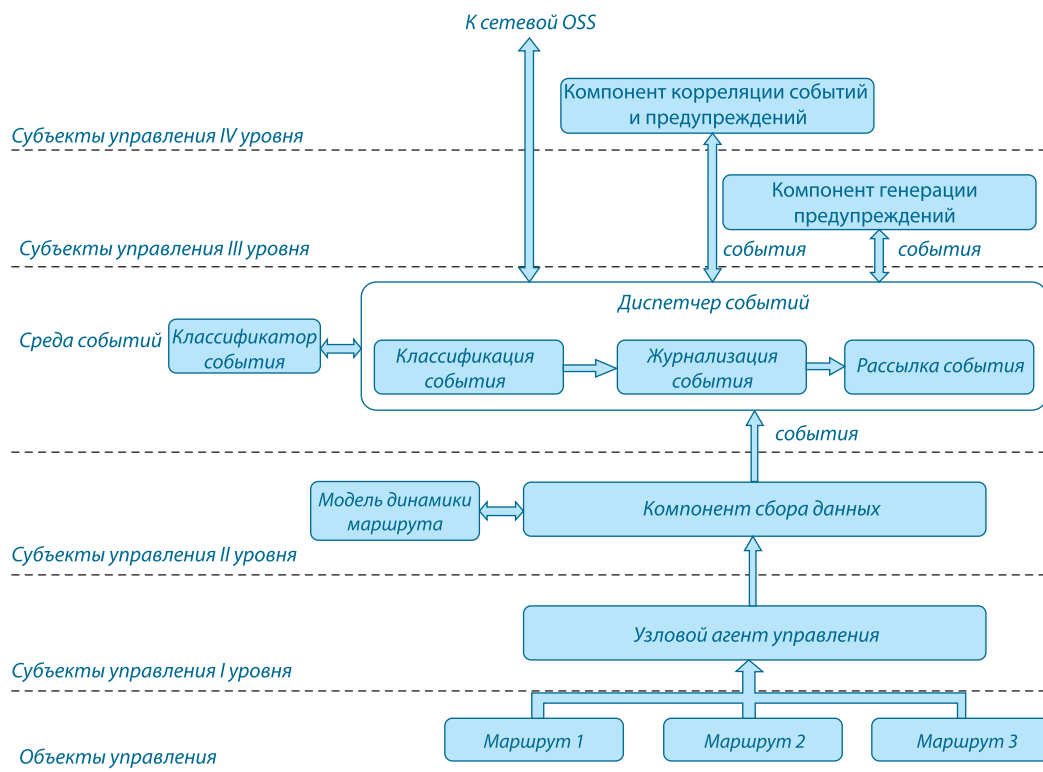


Рис. 9. Структура узловой OSS

по максимуму в серии измерений приводит к изменениям чувствительности процесса принятия решений к выбросам.

В работе [14] показано, что в процессе принятия решения о состоянии канала используется вектор измеренных односторонних задержек. При этом принятие решения основано на статистическом моделировании характера поведения односторонних задержек в каждом из состояний. Определение текущего состояния маршрута осуществляется на основе байесовской классификации измеренного вектора односторонних задержек по классификатору, в котором каждый класс представлен своим распределением вероятностей с устанавливаемым набором параметров.

В случае, когда произошла смена состояния, происходит генерация события смены состояния с последующей его записью в базу данных.

Формируемые на узловых СУ предупреждения и отказы поступают по трактам управления к сетевой СУ.

В составе сетевой СУ помимо компоненты — «Сетевой диспетчер событий», обеспечивающий обработку и пересылку предупреж-

дений от диспетчеров событий узловых СУ к средствам обработки должны входить компоненты томографической реконструкции и анализа состояния сети.

На основе проведенного обзора предлагается включить в OSS дополнительно следующие компоненты:

компонент томографической реконструкции сети, реализующий известные алгоритмы сетевой томографии [12, 15]. Компонент осуществляет определение состояния базовых элементов (устройств и каналов) на основе событий о состоянии составных объектов (маршрутов передачи данных). Основную идею сетевой томографии продемонстрируем на примере. Допустим, что проводится измерение на сети (рис. 10 а). В составе сети 4 узла: A, B, C, D . Для того, чтобы установить состояние каждого из соединений $A-B, B-C$ и $C-D$ достаточно выполнить 2 измерения $A-C$ и $A-D$. В случае, если выйдет из строя $A-B$ оба маршрута $A-C$ и $A-D$ будут недоступны для передачи. Если выйдет из строя $B-C$, то $A-C$ будет недоступен, а $A-D$ будет функционировать, и наоборот, при выходе из строя $B-D$ будет функционировать лишь маршрут $A-C$.

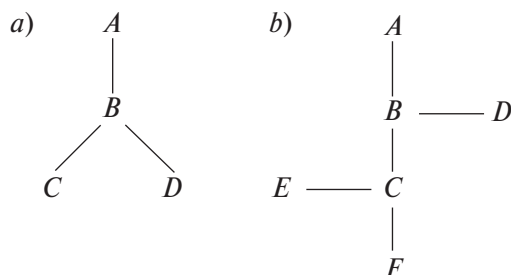


Рис. 10. Пример структур сетей, состояние каналов которых может быть реконструировано средствами сетевой томографии

Аналогично, выполнив 4 измерения $A-E$, $A-F$, $D-E$ и $D-F$ на структуре (рис. 10 b), можно охарактеризовать каждый из пяти каналов. Таким образом, для установления факта выхода из строя соединения необходимо, чтобы через данное соединение проходило 2 маршрута, по которым проводится измерение, и чтобы эти 2 измерения были отрицательны (т. е. передача по данному маршруту была в данный момент невозможна).

Компонент томографической реконструкции функционирует по временным тактам. Анализируются только события, полученные за время между предыдущим тактом и новым. Для уменьшения объема передаваемых данных между узловыми OSS и сетевой OSS должны передаваться только события об отказах и восстановлениях. В случае, если на момент принятия решения (между двумя тактами) событие для некоторого маршрута отсутствует, то считается, что маршрут не изменил состояние с момента предыдущего такта.

Компонент анализа состояния сети осуществляет оценку динамики сети как единого целого. Результатом работы также являются события-предупреждения, передаваемые диспетчеру события и отображаемые графическим интерфейсом пользователя. В основе логики работы компонента может быть использован подход, который был впервые рассмотрен в работе Хорста Бунке [16]. Данный подход вводит понятие графа измерений, представляющего собой граф сети, раскрашенный состояниями каналов и сетевых элементов. Для диагностики аномального поведения сети предложен базовый перечень метрик-сверток (расстояний между графами) $d(g, g')$, которые являются обобщением расстояния редактирования строк

(расстояние Левенштейна). Для каждого «отличия» одного графа от другого (смена состояния сетевого элемента, канала, вставка узла, вставка дуги, удаление узла, удаление дуги) вводится стоимость. После каждого измерения вычисляется суммарная стоимость изменений графа топологии. В случае, если вычисленное превышает установленный порог, генерируется событие-предупреждение о изменениях в сети.

Другая группа методов использует понятие «среднего» графа (графа-медианы) по множеству топологий сети. В этом случае после каждого измерения производится анализ «степени близости» вычисленного графа определенному ранее среднему.

Согласно определению [15], граф-медиана \bar{g} последовательности $G = \{g_1, g_2, \dots, g_n\}$ называется такой граф, суммарное расстояние редактирования которого до каждого члена последовательности минимально:

$$\bar{g} = \arg \min_{g \in U} \sum_{i=1}^n d(g, g_i) \quad (1)$$

Если изобразить графы топологии сети в виде точек пространства, средние графы будут центрами тяжести. Усреднение последовательности графов позволяет исключить влияние случайных флуктуаций, что подобно действию суммирующего фильтра (размытия) сигнала. Поэтому данный метод более предпочтителен для выявления долговременных тенденций в поведении сети. В приведенной работе [14] подход был использован для оценки динамики взаимодействий между элементами корпоративной информационной системы. В качестве источника измерений выступал сенсор *NetFlow*, установленный на граничном маршрутизаторе. Полученные результаты позволяют определять «стандартный» режим функционирования сети и «нестандартный», вызванный необходимостью решения непредусмотренных проектом сети задач. Подход позволяет также спрогнозировать в какой момент сеть в результате увеличения числа абонентов перестанет обеспечивать обслуживание.

Заключение

Существующие в настоящее время синтетические системы наряду с перечисленными преимуществами, обусловленными широким распространением протокола *SNMP* обладают рядом недостатков. При это нередки случаи, ког-

да сеть полностью выполняет требуемые функции по связи пользователей и сервисов, но диагностируемое *OSS* состояние из-за отсутствия адекватных моделей агрегации состояния «элемент» — «авария» и наоборот.

В предложенных аналитических системах такая ситуация невозможна. Измерение происходит от конечного потребителя-абонента. Ошибка будет генерироваться только в случае если сеть не выполняет свою главную функцию — связь между абонентами.

Помимо этого, аналитические системы обладают следующими свойствами:

изначально меньший объем первичной информации сетевых измерений (полоса пропускания, задержка, вариация задержки). При этом первые ширина полосы пропускания и задержка являются параметрами, определяемыми на стадии планирования сети;

отсутствие необходимости разработки заказных *SNMP* агентов. Однако при этом необходимо покрыть сеть множеством агентов сетевых измерений (генераторов/приемников тестового трафика). В промежутке между генератором и приемником могут находиться любые устройства, в том числе неуправляемые. Их состояние может быть реконструировано при помощи методов сетевой томографии при условии, что устройство входит в несколько маршрутов;

отсутствие необходимости использования искусственных внешних моделей, создание которых требует достаточно высокой квалификации от персонала. В случае аналитических систем можно воспользоваться сетевой томографией, основанной на классических методах линейной алгебры и граф-аналитическими методами.

ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Бакланов И. Г.** Оправдание OSS / И. Г. Бакланов. — Екатеринбург: Издательские решения, 2016. — 134 с.
2. **Kenneth R., Sheers** HP OpenView Event Correlation Services // Hewlett-Packard Journal. 1996. Article 4. С. 1–10. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.hpl.hp.com/hpjournal/96oct/oct96a4.pdf>, свободный. — Загл. с экрана.
3. **Hachey G.** Instant OpenNMS Starter / G. Hachey. — Birmingham: Packt Publishing, 2013. — 60 p.
4. M.3703: Common management services — Alarm management — Protocol neutral requirements and analysis [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://www.itu.int/rec/T-REC-M.3703-201006-1>, свободный. — Загл. с экрана.
5. **Гребешков А. Ю.** Стандарты и технологии управления сетями связи / А. Ю. Гребешков. — М.: «Эко-Трендз», 2003. — 288 с.
6. **Зителло Т.** HP OpenView — настольная книга системного администратора / Т. Зителло, Д. Вильямс, П. Вебер. — М.: ЭКОМ, 2006. — 616 с.
7. **Hasan M.** A conceptual framework for network management event correlation and filtering systems / M. Hasan, V. Sugla, R. Viswanathan. // Integrated Network Management VI. Distributed Management for the Networked Millennium. Proceedings of the Sixth IFIP/IEEE International Symposium on Integrated Network Management. — 1999. — Cat. No.99EX302. — Pp. 233–246.
8. **Бломмерс Дж.** OpenView Network Node Manager. Разработка и реализация корпоративного решения / Дж. Бломмерс. — М.: Интернет-Университет Информационных Технологий (ИНТУИТ), 2005. — 264 с.
9. **Ghetie I.** Networks and Systems Management: Platforms Analysis and Evaluation / I. Ghetie. — Berlin: Springer Science & Business Media, 1997. — 512 p.
10. **Hobbs C.** A Practical Approach to WBEM/CIM Management / C. Hobbs. — Boca Raton: CRC Press, 2004. — 344 p.
11. **Nadeau T., Farrel A.** Generalized Multiprotocol Label Switching [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://tools.ietf.org/html/rfc4802>, свободный. — Загл. с экрана.
12. **Castro R.** Network Tomography: Recent Developments / R. Castro. и др. // Statistical Science.— 2004. — Vol. 19, No. 3. — Pp. 499–517.
13. **Kanuparth P.** Pythia: Diagnosing Performance Problems in Wide Area Providers / P. Kanuparth, C. Dvrolis. // The Proceedings of USENIX ATC '14: 2014 USENIX Annual Technical Conference.— 2014. — Vol. 12, No. 5. — Pp. 371–382.
14. **Плотников В. С.** Автоматизированный программный комплекс оценки качества в телекоммуникационной сети / В. С. Плотников, Н. В. Васильев, А. И. Яшин. // Вопросы радиоэлектроники. — 2014. — № 1, Т. 3. — С. 35–45.
15. **Vardi Y.** Network Tomography: Estimating Source-Destination Traffic Intensities from Link Data / Y. Vardi. // Journal of the American Statistical Association.— 1996. — Vol. 91, No. 433. — P. 365–377.
16. **Bunke H.** A Graph-Theoretic Approach to Enterprise Network Dynamics / H. Bunke. и др. — Basel: Birkhäuser, 2007. — 226 p.

В. К. Гойденко

Адъютант, Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного

МЕТОДИКА ТЕПЛООВОГО КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИРОВАНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫХ КОМПЛЕКСОВ СВЯЗИ

АННОТАЦИЯ. Предложена методика диагностирования и контроля современных программно-аппаратных комплексов связи, представляющих собой сложные системы. Приведены данные о статистике причин отказов в них. Показана степень влияния температурного режима на интенсивность отказов. Сформулированы противоречия в теории и практике диагностирования и контроля современных технических систем. Предложен обобщенный алгоритм работы методики диагностирования и модель работы программно-аппаратных комплексов связи.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: диагностика, неразрушающий контроль, тепловой режим, коэффициент технического использования.

Современный уровень развития техники создает предпосылки для значительного увеличения использования программно-аппаратных комплексов связи (ПАКС) в вооружениях, военной и специальной технике (ВВСТ). Обеспечение высоких показателей качества и надежности ПАКС в настоящее время невозможно без применения разнообразных методов и средств диагностирования на каждом этапе эксплуатации. На всех уровнях конструктивного структурообразования в ПАКС могут появляться дефекты, приводящие к нарушению их работоспособности [1].

Трудоемкость и временные затраты на выявление и устранение дефектов в местах их возникновения достаточно велики. Особую ценность представляет собой возможность диагностирования и прогнозирования, отдельных элементов печатных узлов с целью скорейшей замены на исправные и возвращению печатного узла в работу. Не обнаруженные своевременно дефекты могут вызвать появление вторичных еще более «дорогих» дефектов [1, 2].

Процесс поиска дефектов является весьма трудоемким. Обычно к наладке сложных электронных узлов и блоков привлекаются квалифицированные специалисты, которые осуществляют отладку, основываясь на своем опыте. С ростом сложности и увеличением количества

ПАКС в ВВСТ такой подход становится малоэффективным, а зачастую дает негативные результаты. Например, в некоторых случаях, не найдя дефекта, который можно устранить, не прибегая к дорогостоящему ремонту, для устранения дефекта вызывают представителей промышленности или отправляют изделие на завод [1].

Рост степени интеграции комплектующих элементов и плотности монтажа приводит к тому, что ПАКС оказываются весьма чувствительными к тепловым и токовым перегрузкам [3].

На рис. 1 изображено распределения причин отказов элементов в ПАКС.

График характеризующий изменение интенсивности отказов элементов при изменении температуры окружающей среды на 10 градусов [3] показан на рис. 2.

На графике видно, что при изменении температуры на 10° интенсивность отказов блоков в температурном диапазоне (20–60 °С) изменяется примерно на 15–50 %.

Также, из расчетных данных известно, что при изменении температуры воздуха внутри блока на 10 °С интенсивность отказов в среднем увеличивается на 25 %.

Изменение температуры окружающей среды влияет на параметры электрорадиоэлементов [4]: снижается коэффициент усиления транзисторов;

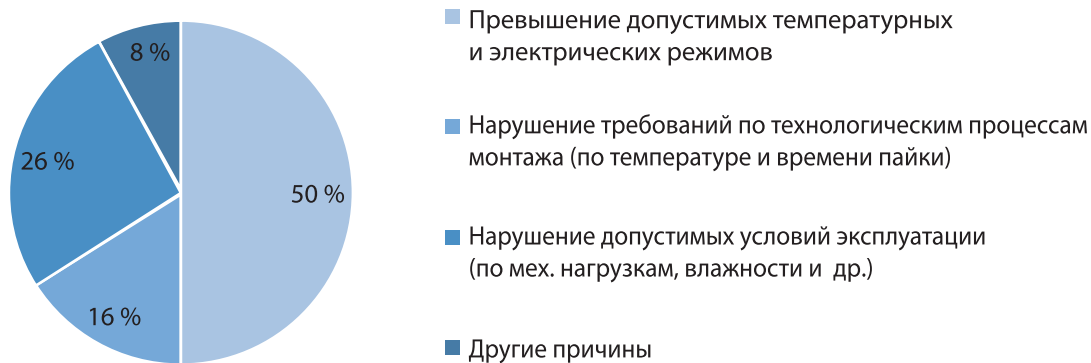


Рис. 1. Диаграмма распределения причин отказов элементов в ПАКС

увеличиваются обратные токи полупроводниковых переходов;
возрастает величина проводимости утечки;

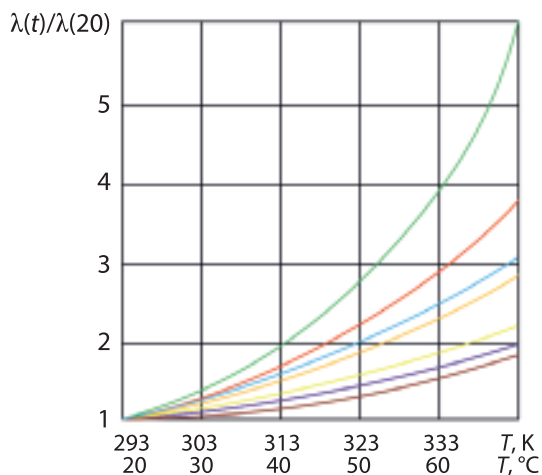


Рис. 2. Изменение интенсивности отказов с температурой для ПАКС с воздушным охлаждением

изменяется емкость конденсаторов из-за изменения величины проводимости утечки и снижается их электрическая прочность;

высыхают и коробятся изоляционные материалы и прокладки, снижается термомеханическая прочность термореактивных пластмасс; растут величины сопротивления металлических резисторов и потерь на перемагничивание и т. д.;

увеличивается внутреннее сопротивление полупроводников, снижается электрическое сопротивление металлов.

Для диагностики состояния элементов ПАКС используются в основном электрические методы контроля. Тепловой контроль относится к одному из видов неразрушающего контроля [5], известны также научные работы по реализации магнитного контроля радиоэлектронных изделий, но из-за низкой помехоустойчивости этот метод широкого применения не получил. В рамках разрабатываемой методики планируется использовать тепловое диагностирование в дополнение к электрическим видам контроля. На рис. 3 показаны различные методы неразрушающего контроля.

На данный момент при растущей сложности современных ПАКС, увеличении числа контролируемых параметров, миниатюризации размеров элементов, а также низкого уровня использования систем, выполняющих функции прогнозирования и распознавания предаварийного состояния, в связи с необходимостью уменьшения трудоемкости и времени диагностирования, актуальными являются задачи прогнозирования отказов в рабочем режиме, снижения времени восстановления, уменьшения ресурсов сил и средств, требуемых для диагностирования.

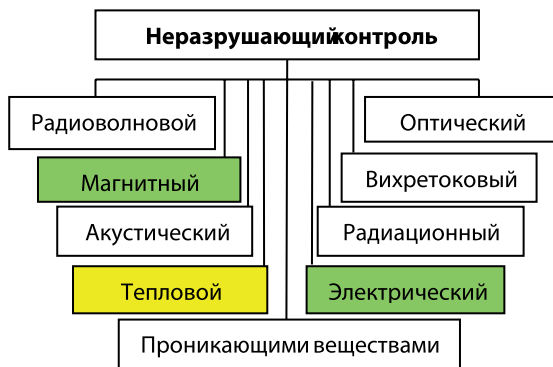


Рис. 3. Виды неразрушающего контроля

Наука располагает существующими методами внутрисхемного диагностирования и контроля, методиками теплового диагностирования в энергетике и промышленном производстве электроники [6], но в теории отсутствуют унифицированные формы представления ПАКС как объектов диагностирования или их моделей пригодных для решения задач теплового диагностирования. Поэтому необходима разработка адекватной модели тепловых процессов, происходящих в ПАКС и методики теплового диагностирования ПАКС.

Выполнение вышеприведенных требований позволит повысить коэффициент технического

использования [7, 8], путем уменьшения времени ремонта и времени технического обслуживания.

$$K_{\text{ТИ}} = \frac{T}{T + T_B + T_{\text{Т.О}}} \quad (1)$$

где T — суммарное время пребывания в работоспособном состоянии; T_B — время ремонта; $T_{\text{Т.О}}$ — время технического обслуживания.

Время ремонта рассчитывается по формуле:

$$T_B = T_{\text{диаг}} + T_{\text{рем}} \quad (2)$$

В большинстве случаев для электронной техники время диагностирования составляет не менее 80 % от времени восстановления.

В общем виде алгоритм методики теплового диагностирования изображен на рис. 4.

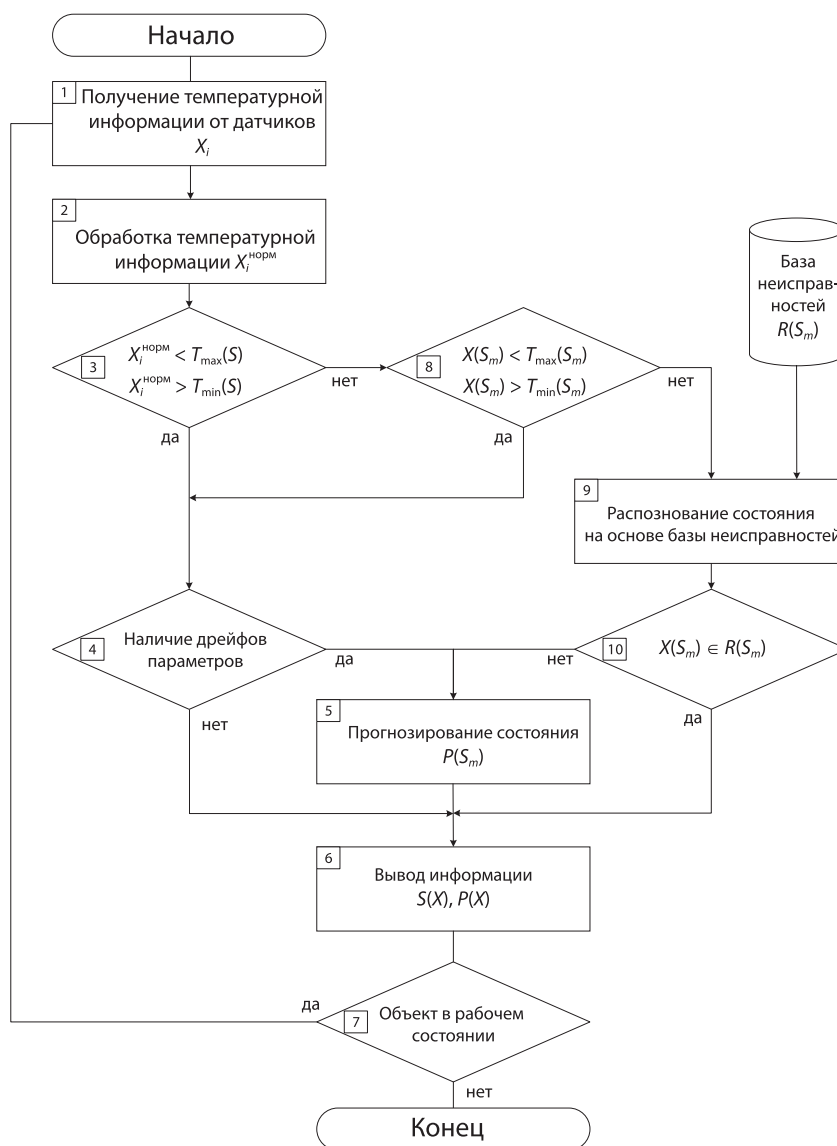


Рис. 4. Алгоритм методики теплового диагностирования

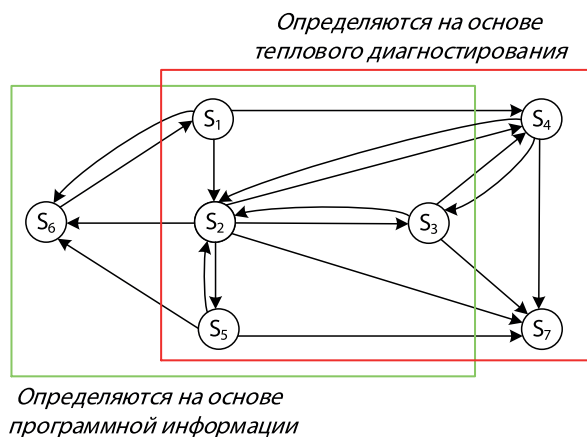


Рис. 5. Граф состояний ПАКС

В качестве исходных данных для определения состояния ПАКС выбираются значения температур в контрольных точках, и формируется вектор входных значений $X(t) = \{X_1(t), X_2(t), \dots, X_n(t)\}$.

После регистрации температуры происходит обработка и нормирование значений, получаемых от датчиков, в зависимости от коэффициента излучения элемента, вида охлаждения, типа температурного датчика. На основе нормированных значений определяется текущее техническое состояние и режим работы, с помощью ряда критериев и процедур.

Сначала происходит проверка по простому пороговому критерию, если значение температуры соответствует заданным порогам для текущего режима, то проводится статистический анализ флуктуаций значений, на основе которого происходит прогнозирование и вывод информации о исправности объекта.

Если значения температуры превысили установленные пороговые значения, вычисленные средствами имитационного моделирования, но это произошло по причине изменения режима работы ПАКС, то дальше вывод информации происходит по вышеописанному алгоритму.

Если же значения температуры вышли за пороговые значения не по регламентированным причинам, то начинается процесс распознавания технического состояния на основе базы

неисправностей. Если техническое состояние диагностировано однозначно, то информация о неисправности выводится на экран индикации.

Затем происходит сравнение с пороговыми значениями [9]

$$T_{\max|\min}(S_m) = \{T_{1 \max|\min}(S_m), T_{2 \max|\min}(S_m), \dots, T_{n \max|\min}(S_m)\}$$

для данного режима функционирования S_m .

$$S = \begin{cases} S_{И}, & T_{\min}(S_m) < X(S_m) < T_{\max}(S_m); \\ S_{НИ}, & \{X(S_m) < T_{\min}(S_m)\} \vee \\ & \vee \{X(S_m) > T_{\max}(S_m)\}. \end{cases} \quad (3)$$

В том случае, если температура выходит за пороговые значения, то начинается распознавание технического состояния изделия на основе данных библиотеки неисправностей $R(S_m) = \{R_1(S_m), R_2(S_m), \dots, R_j(S_m)\}$.

В качестве модели работы ПАКС используется граф состояний ПАКС. Для каждого режима работы рассчитаны пороговые значения температуры элементов.

На рис. 5 обозначены следующие состояния ПАКС: S_1 — запуск, S_2 — ненагруженный режим, S_3 — нагруженный режим, S_4 — предотказное состояние, S_5 — энергосбережение, S_6 — отключение, S_7 — неработоспособное состояние.

На основе данного графа осуществляется контроль переходов состояний ПАКС (4), и выводится индикация о исправном — $S_{И}$, аварийном — S_A или неисправном состоянии — $S_{НИ}$ ПАКС.

$$S(X) \in \{[S_{И} \supset S_1, S_2, S_3, S_6] \cap [S_A \supset S_4] \cap [S_{НИ} \supset S_7]\} \quad (4)$$

Предложенная методика направлена на повышение коэффициента технической готовности позволит снизить затраты на ликвидацию и предупреждение развития дефектов. Путем выполнения своевременных регулировок и замены блоков, элементов с ухудшающимися параметрами, на основании контроля постепенных изменений технического состояния и текущей оценки параметров ПАКС.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сулейманов С. П. Метод и средства теплового диагностирования радиотехнических устройств: дис. ... канд. тех. наук: 05.12. 04 — М., 2005.— 201 с.

2. Долматов А. В., Сулейманов С. П., Увайсов С. У., Алкадарский С. У. Программно-методический инструмент мониторинга производственных де-

фектов радиотехнических устройств // Надежность и качество: труды Международного симпозиума. — 2005. — Т. 1. — С. 335–336.

3. **Увайсов С. У., Юрков Н. К.** Методика обеспечения тепловой контролепригодности радиотехнических устройств на этапе проектирования // Вестник Самарского государственного университета. 2012. № 7.С. 16–21.

4. **Давыдов П. С.** Техническая диагностика радиоэлектронных устройств и систем. — М.: Радио и связь, 1988. — 256 с.

5. **Роткоп Л. Л., Спокойный Ю. Е.** Обеспечение тепловых режимов при конструировании радиоэлектронной аппаратуры. — М.: Советскоердио, 1976. — С. 25–40.

6. Неразрушающий контроль. В 7 т. Т. 5. Тепловой контроль / Под ред. В. В. Клюева. — М.: Машиностроение, 2004. — 679 с.

7. ГОСТ 27.002–2015 Надежность в технике, 2015.

8. **Бочкарев С. В., Лыков А. А., Марков Д. С.** Методика комплексной оценки показателей эффективности систем технического диагностирования и мониторинга // Развитие элементной базы и совершенствование методов построения устройств железнодорожной автоматики и телемеханики. — 2014. — С. 14–23.

9. **Долматов А. В., Увайсов С. У., Увайсов Р. И., Алкадарский А. М.** Синтез температурных допусков на комплектующие элементы электронных приборов // Надежность и качество: труды Международного симпозиума. — Пенза, 2005. — С. 334–335.

10. **Воронин В. В., Давыдов О. А.** Встроенные средства систем диагностирования локальных вычислительных сетей // Электротехнические и информационные комплексы и системы. — 2014. — № 1. — С. 73–78.

М. Е. Ипатов

Кандидат технических наук, ПАО «Интелтех»

Д. В. Белоус

Кандидат технических наук, ПАО «Интелтех»

Р. Р. Сиразетдинов

Кандидат технических наук, доцент, ПАО «Интелтех»

СИСТЕМА ЭЛЕКТРОННОГО ОБОРОТА РАСПОРЯДИТЕЛЬНЫХ И ИНФОРМАЦИОННО- СПРАВОЧНЫХ ДОКУМЕНТОВ ПРЕДПРИЯТИЯ

АННОТАЦИЯ. Статья посвящена назначению, составу и возможностям системы электронного документооборота, внедрённого в ПАО «Информационные телекоммуникационные технологии». Описывается порядок регистрации, рассылки, получения и контроля исполнения электронных документов (электронных копий документов).

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: система электронного документооборота, электронный документ, электронный журнал, рабочий процесс, задача.

Система электронного оборота распорядительных и информационно-справочных документов предприятия (далее система электронного документооборота или СЭД) — система, автоматизирующая процессы регистрации, доставки, исполнения, контроля доставки и исполнения распорядительных и информационно-справочных документов, а также формирования отчетов по документообороту. СЭД является элементом корпоративного портала [1], построенного с применением системы Desk-Work на платформе Microsoft SharePoint. Сотрудникам предприятия предоставлен доступ к системе электронного документооборота в соответствии с должностными полномочиями [2].

Основным техническим элементом СЭД является электронный журнал, содержащий регистрационные номера и данные о документах (электронных документах) в виде набора регистрационно-учетных форм.

В электронных журналах канцелярии и структурных подразделений осуществляется обязательная регистрация всех документопотоков предприятия за исключением докумен-

тов с грифом конфиденциальности. При этом на каждый регистрируемый документ заполняется регистрационно-учетная форма (карточка документа) и прикрепляется файл с электронным документом.

Для регистрации документов канцелярия использует следующие электронные журналы (рис. 1):

- журнал входящих документов;
- журнал приказов;
- журнал приказов о премировании;
- журнал приказов по административно-хозяйственной деятельности;
- журнал указаний.

Состав электронных журналов в структурных подразделениях определяется руководителем структурного подразделения и зависит от специфики выполняемых подразделением задач.

Для регистрации документа в соответствующем электронном журнале (рис. 2) создаётся карточка документа, и заполняются её поля. СЭД автоматически выдаёт регистрационный номер документа, который указывается на бумажном документе.

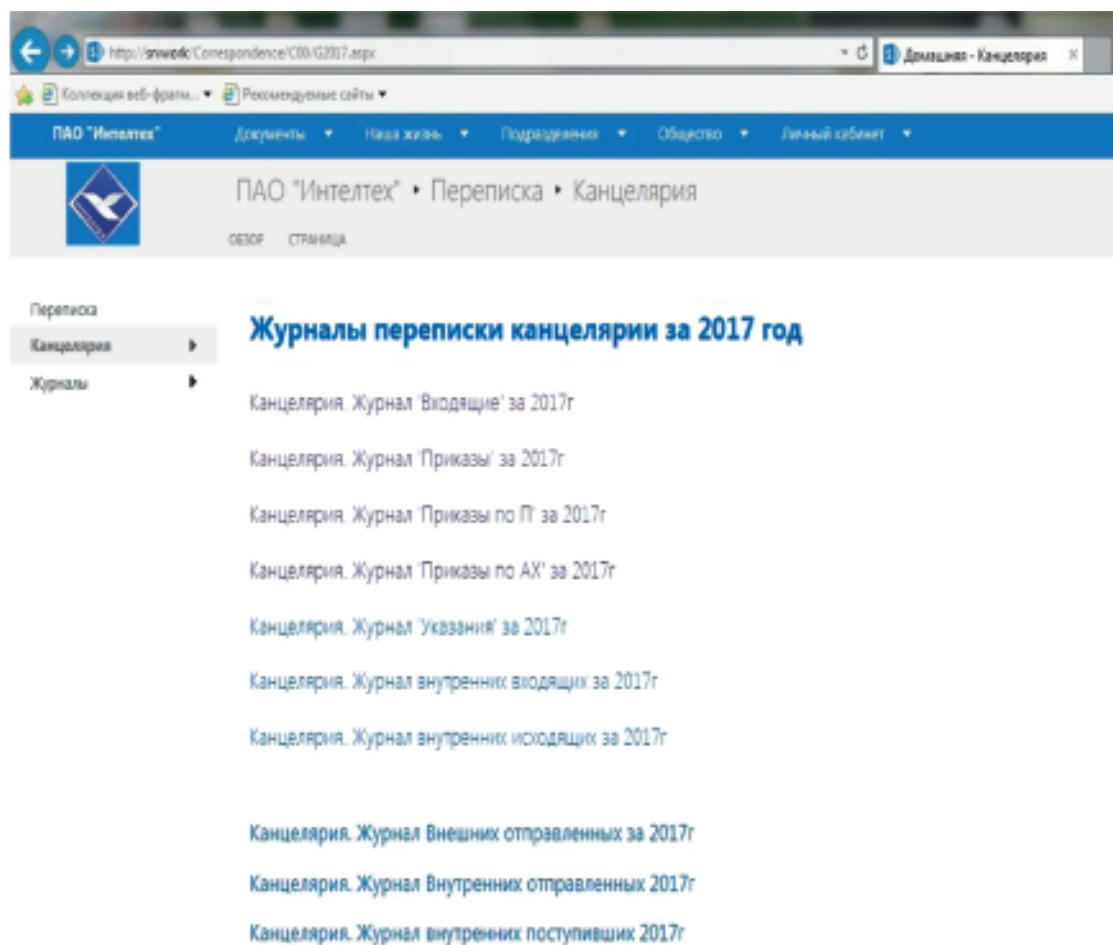


Рис. 1. Электронные журналы канцелярии

После рассмотрения и подписания документа генеральным директором или руководителем структурного подразделения документ сканируется, и его электронная копия с резолюцией прикрепляется к карточке документа, текст резолюции вводится в соответствующее поле.

Для документа, находящегося на контроле генерального директора, заполняется соответствующее поле карточки документа и указывается срок исполнения документа. По исполнению документа в поле карточки документа вводится дата исполнения документа.

Все документы, зарегистрированные в электронных журналах канцелярии, подлежат обязательной электронной рассылке:

входящие документы — в соответствии с резолюцией генерального директора;

приказы и указания — в соответствии со списком рассылки.

Электронная рассылка документов внутри подразделения или в другие структурные подразделения является рекомендованной и выполняется при наличии технической возможности.

Документы с отметкой «Для служебного пользования» не сканируются и не подлежат рассылке в СЭД.

Для рассылки электронного документа необходимо в электронном журнале выбрать карточку (строку) с рассылаемым документом и запустить рабочий процесс, соответствующий адресату рассылки (рис. 3). Рабочий процесс — программа, привязанная к конкретному электронному журналу, запускаемая пользователями применительно к конкретной карточке документа, т. е. применительно к конкретному документу, как правило, для рассылки этого документа исполнителям. Рабочий процесс формирует последовательные или параллельные во времени задачи для сотрудников.

The screenshot shows a web interface for the 'Journal of Orders' for 2017. The page title is 'ПАО "Интелтек" • Переписка • Канцелярия • Канцелярия. Журнал "Приказы" за 2017г'. Below the title, there are tabs for 'Обзор' (Overview), 'Элементы' (Elements), and 'Список' (List). The main content is a table with columns for '№' (Number), 'Дата' (Date), 'Тема' (Subject), 'Кол-во' (Quantity), 'Исполнитель' (Executor), 'Исполнитель' (Executor), 'Исполнитель' (Executor), 'Дата' (Date), and 'Статус' (Status).

№	Дата	Тема	Кол-во	Исполнитель	Исполнитель	Исполнитель	Дата	Статус
253	06.12.2017	О подготовке и проведении марша мобильных аппаратов	3	НТЦ-3	Филиппов	Филиппов	06.12.2017 12:06	Получено
254	06.12.2017	О передаче полномочий генерального директора	1+1	Дирекция	Бутко	Бутко	06.12.2017 18:20	
253	05.12.2017	Об аттестации КТС стандарта ISO9001:2015	1	3041	Старовойтов	Старовойтов	05.12.2017 18:19	Получено
252 доп	06.12.2017	О введении в действие "Инструкции о порядке проведения в ПАО "Интелтек" совещаний по срочным вопросам"	1+1	БТБ1	Воробьев	Воробьев	06.12.2017 12:14	
251	06.12.2017	Об организации выполнения требований по ТЭИ	2	БНЦ2	Коваленко	Коваленко	06.12.2017 15:59	Получено
250	06.12.2017	О внесении изменений в приказ от 30.08.2017 № 189	1	ОСБД	Полков	Полков	06.12.2017 14:05	
249	30.11.2017	О запрете обработки информации	1	3023	Долгачев	Долгачев	30.11.2017 13:36	
248	29.11.2017	Об образовании конкурсной комиссии по отбору аудиторской организации	2	Б186	Фелиппов	Фелиппов	29.11.2017 18:22	Получено
247	29.11.2017	О передаче полномочий генерального директора	1+1	Дирекция	Бутко	Бутко	29.11.2017 15:40	
246	27.11.2017	О создании комиссии по правке ОКР "Улей"	1	НТЦ-1	Федотов	Федотов	27.11.2017 15:28	
245	27.11.2017	О введении режима коммерческой тайны	1	НТЦ-1	Федотов	Федотов	27.11.2017 9:48	

Рис. 2. Электронный журнал регистрации приказов

The screenshot shows a web interface for starting a work process. The page title is 'ПАО "Интелтек" • Переписка • Канцелярия • Канцелярия. Журнал "Входящие" за 2017г. Рабочие процессы письмо Ф'. Below the title, there is a section titled 'Запуск нового рабочего процесса' (Start new work process). This section contains a grid of document icons, each with a title and a date. The titles include 'Извещение 2017_На выбор 6,1', 'Извещение 2017_На выбор 6,2', 'Извещение 2017_Перенес 1А', 'Извещение 2017_Перенес 1Б', 'Извещение 2017_Перенес 1В', 'Извещение 2017_Перенес 1С', 'Извещение 2017_Список 1,1', 'Извещение 2017_Список 1,2', 'Извещение 2017_Список 1,3', 'Извещение 2017_Список 2,1', 'Извещение 2017_Список 2,2', 'Извещение 2017 для Бюджетной НК 1', 'Извещение 2017 для Бюджетной СБ', and 'Извещение 2017 для Бюджетной НК 2', 'Извещение 2017 для Бюджетной СБ'.

Рис. 3. Страница выбора рабочего процесса для отправки входящего документа

Задача представляет собой электронную форму (окно), доступ к которой сотрудник получает через ссылку в полученном им электронном письме (рис. 4), или через центр задач (рис. 5) [1, 2], являющийся разделом личного кабинета сотрудника на корпоративном портале. Задача содержит информацию о необходимости выполнить какое-либо действие, например, получить документ, передать подчиненным сотрудникам и т. д., и одну или несколько кнопок, которые необходимо нажать сотруднику, тем самым обозначить выполнение этого действия.

Задача (рис. 6) так же может содержать поля ввода резолюции и даты исполнения для подчиненных сотрудников, поле ввода фамилий подчиненных сотрудников для дальнейшей передачи документа или возможность их выбора. Эти поля получатель-руководитель заполняет, если хочет переадресовать этот документ для непосредственного исполнения его подчиненными.

Для информирования канцелярии о получении документа получателю необходимо нажать соответствующую кнопку в окне своей задачи, при этом автоматически заполняется соответствующее поле карточки этого документа в электронном журнале канцелярии.

На получение документа отводятся одни сутки с момента отправки канцелярией. Если в течение этого срока документ не получен, задача на получение документа считается просроченной и окрашивается в красный цвет в центре задач.

Действия по получению электронного документа (электронной копии документа) могут выполняться как непосредственно получателем документа, так и по его указанию уполномоченный сотрудник, ответственный за ведение делопроизводства в структурном подразделении.

Если получатель-руководитель выбрал или указал подчиненных сотрудников для дальнейшего исполнения документа, автоматически формируются задачи по исполнению и электронные письма для этих сотрудников.

Доступ к своей задаче подчиненные сотрудники осуществляют так же через ссылку в полученном письме или через строку таблицы центра задач.

Подчиненные сотрудники информируют об исполнении документа нажатием соответствующей кнопки в окне своей задачи. Задача на

исполнение подчиненным сотрудником считается просроченной и окрашивается в красный цвет в центре задач, если просрочена дата исполнения, указанная руководителем (если эта дата была назначена).

При необходимости руководитель может контролировать факт исполнения документа подчиненными. Окончательный факт завершения исполнения документа устанавливает руководитель, нажав соответствующую кнопку в окне своей задачи.

Для канцелярии СЭД автоматически заполняет ссылками на карточки отправленных и полученных документов следующие журналы (см. рис. 1):

журнал внешних отправленных (содержит ссылки карточек входящих документов, отправленных канцелярией по СЭД);

журнал внутренних отправленных (содержит ссылки карточек приказов и указаний, отправленных канцелярией по СЭД);

журнал внутренних поступивших (содержит ссылки карточек документов, полученных Канцелярией по СЭД).

Для структурных подразделений СЭД автоматически заполняет ссылками на карточки отправленных и полученных документов следующие журналы:

журнал внутренних отправленных (содержит ссылки карточек документов, отправленных структурным подразделением по СЭД).

журнал внешних поступивших (содержит ссылки карточек входящих документов, полученных структурным подразделением по СЭД);

журнал внутренних поступивших (содержит ссылки карточек приказов, указаний и служебных записок, полученных структурным подразделением по СЭД).

Организацию, ведение с использованием СЭД, методическое руководство и контроль соблюдения установленного порядка работы с документами в структурных подразделениях осуществляют сотрудники канцелярии.

Непосредственное ведение делопроизводства с использованием СЭД в структурных подразделениях осуществляется руководителями этих подразделений и уполномоченными сотрудниками, ответственными за ведение делопроизводства.

Организационно-методическое и техническое сопровождение СЭД осуществляется администратором корпоративного портала [2].

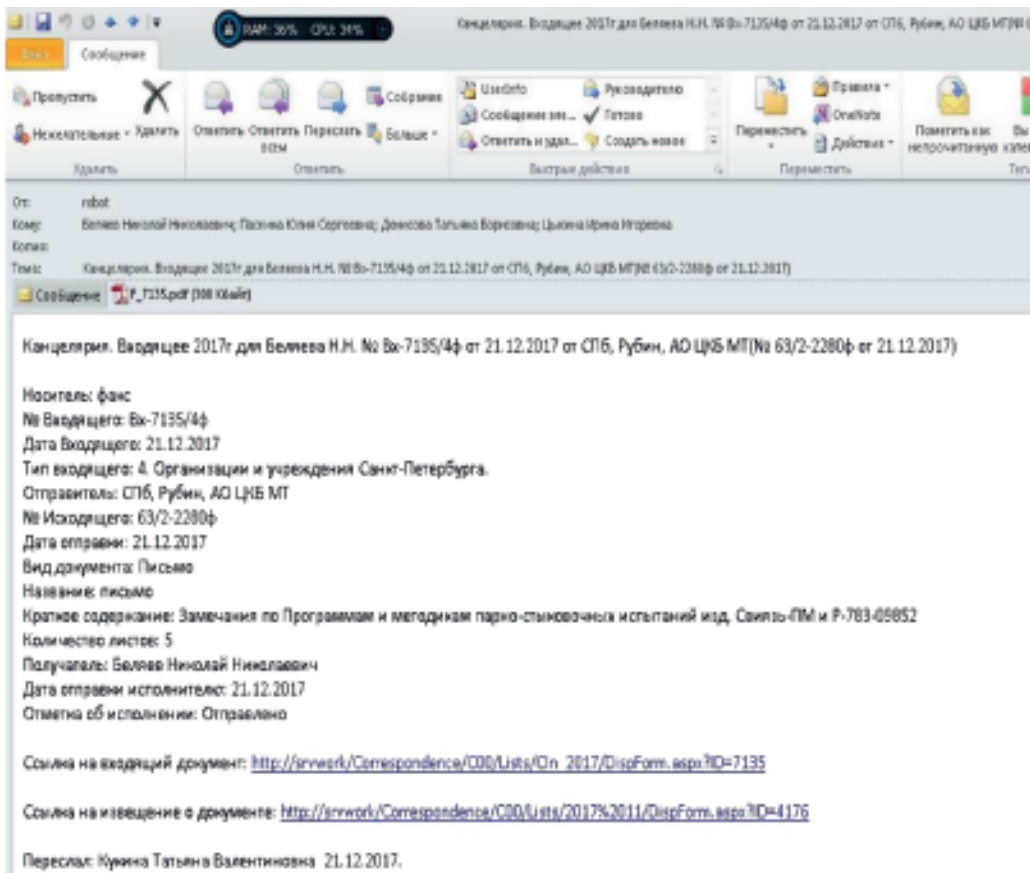


Рис. 4. Электронное письмо со ссылками на регистрационную карточку входящего документа и на извещение о документе — задачу получения (во вложении скан-копия входящего документа)

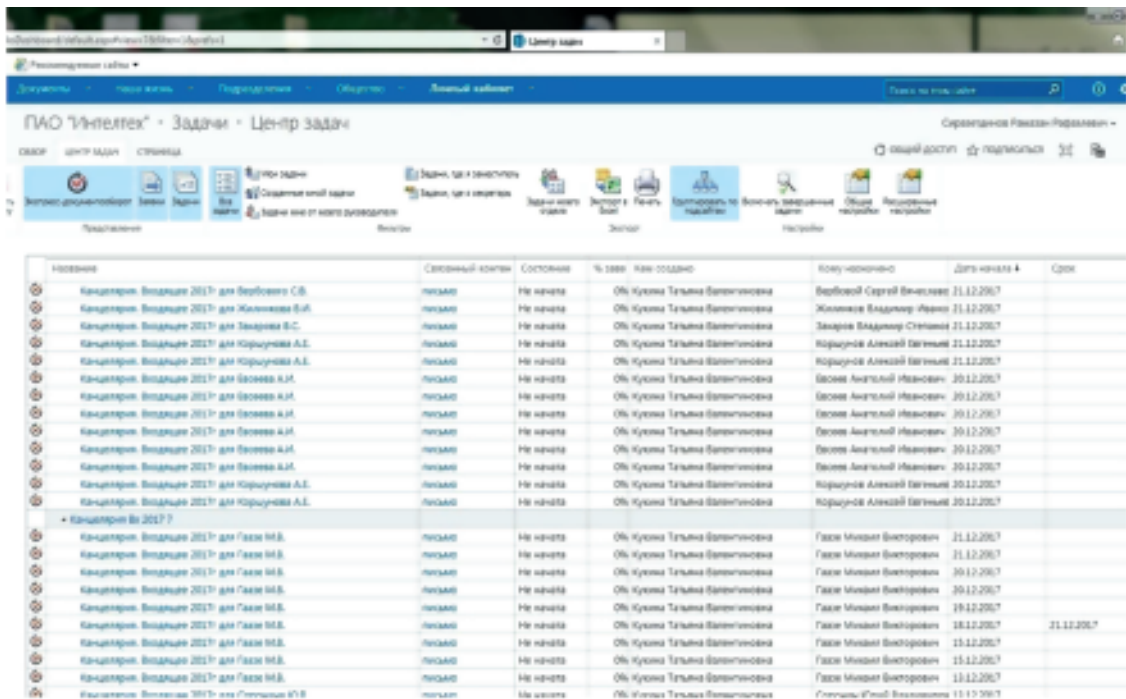


Рис. 5. Задачи по получению входящих документов в центре задач

Канцелярия, Входящие 2017г для Кулешова И.А.
 эл.документ Письмо
 О продукции компании Кулисис просить направить форму в срок до 26.12.17
 Номер: ВХ-П226 от 20.12.2017 0:00
 Отправитель: Москва, Росэлектроника АО, Карнацкий, исх.№ П9-8808 от 20.12.2017 8:00
 Срок исполнения:
 Рекомендация Гендиректора (или вст):
 Присуд подготавливать ответ

Внести Рекомендации (если необходимо):

Выборите, если нужно, сотрудников для уведомления:

- Харченко Олег Васильевич
- Карпов Владимир Павлович
- Рудин Андрей Владимирович
- Таланов Владимир Иванович
- Харченко Владимир Сергеевич
- Игатов Михаил Евгеньевич
- Дычанин Николай Иванович
- Рудин Александр Иванович
- Белов Николай Николаевич
- Михайлов Павел Петрович
- Гавриленко Сергей Андреевич

Можете, также, выбрать сотрудников произвольно:

_____, & ☰

_____, & ☰

_____, & ☰

Рис. 6. Форма задачи по получению документа и ее дальнейшей отправке непосредственному исполнителю

Сроки хранения электронных документов (электронных копий документов) соответствуют срокам хранения документов, аналогичного вида на бумажном носителе.

В СЭД имеется возможность автоматизированного формирования отчётов по документообороту для канцелярии.

Для входящих документов формируются следующие отчёты:

- обработанные документы;
- исполненные документы;
- невернувшиеся документы;

исполнители, просрочившие и не исполнившие документы;

- документы на контроле;
- документы с просроченной датой контроля;
- документы, неисполненные на сегодня;
- исполнители, не исполнившие документы;
- объём документооборота;
- список организаций;
- все документы с контролем.

Для остальных документов формируются следующие отчеты:

- внутренняя опись документов;
- объём документооборота.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Ипатов М. Е., Белоус Д. В., Сиразетдинов Р. Р.** Вариант корпоративного портала и системы электронного документооборота предприятия. // Новые информационные технологии в системах связи и управления: материалы XV (ежегодной) Российской научно-технической конференции. — Калуга.— 2016. — С. 245–247.

2. **Ипатов М. Е., Белоус Д. В., Сиразетдинов Р. Р.** Организация работы с корпоративным порталом и системой электронного документооборота предприятия. // Новые информационные технологии в системах связи и управления: материалы XV (ежегодной) Российской научно-технической конференции. — Калуга.— 2016. — С. 242–244.

М. Е. Ипатов

Кандидат технических наук, ПАО «Интелтех»

Д. В. Белоус

Кандидат технических наук, ПАО «Интелтех»

Р. Р. Сиразетдинов

Кандидат технических наук, доцент, ПАО «Интелтех»

ЭЛЕКТРОННАЯ ПОДПИСЬ В СИСТЕМЕ ВНУТРЕННЕГО ЭЛЕКТРОННОГО ДОКУМЕНТООБОРОТА

АННОТАЦИЯ. Статья посвящена основным вопросам применения неквалифицированной электронной подписи в системе электронного документооборота ПАО «Информационные телекоммуникационные технологии». Описываются функции удостоверяющего центра, технические требования, предъявляемые для получения сертификата ключа электронной подписи, условия, при которых сертификат считается действующим.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Система электронного документооборота, удостоверяющий центр, неквалифицированная электронная подпись, электронный сертификат ключа, реестр сертификатов ключей.

В соответствии с Федеральным законом от 6 апреля 2011 года № 63-ФЗ «Об электронной подписи» электронная подпись (ЭП) — информация в электронной форме, которая присоединена к другой информации в электронной форме (подписываемой информации) или иным образом связана с такой информацией и которая используется для определения лица, подписывающего информацию. Выделяют три вида электронной подписи:

простая электронная подпись (ПЭП);

неквалифицированная электронная подпись (НЭП);

квалифицированная электронная подпись (КЭП).

ПЭП позволяет подтвердить авторство, но не гарантирует неизменность документа после его подписания и не обеспечивают юридическую значимость. ПЭП посредством имени пользователя, пароля, применяется для получения доступа к корпоративному portalу предприятия, размещению на нём информационных ресурсов, формированию и согласованию

заявок на портале для получения некоторых внутренних услуг от подразделений предприятия (установка программного обеспечения, ремонт помещений, электрики и т. д.) [1].

КЭП позволяет определить автора подписанного документа и доказать неизменность содержащейся в нем информации. В КЭП заложены криптографические алгоритмы, которые обеспечивают защиту документов. КЭП может быть получена только в удостоверяющем центре, аккредитованном Минкомсвязи России. КЭП наделяет документы полной юридической силой, соответствует всем требованиям о защите конфиденциальной информации, используется для сдачи отчетности в контролирующие органы государственной власти и для участия в электронных торгах.

В НЭП, как и в КЭП, заложены криптографические алгоритмы. Она так же позволяет определить автора подписанного документа и доказать неизменность содержащейся в нем информации. Но для получения НЭП достаточно наличие соответствующего программ-

ного приложения, выполняющего роль удостоверяющего центра и функционирующего на сервере локальной вычислительной сети предприятия, в которой работает СЭД. Такая подпись может использоваться для электронного документооборота предприятия, например, в процессе внутреннего электронного согласования документов на проведение закупок, а также для отправки электронных документов из одной компании в другую. Во втором случае, стороны должны заключить между собой соглашение, устанавливающие правила использования и признания ЭП.

Программное приложение, являющееся удостоверяющим центром НЭП, выполняет следующие функции:

- создает электронные сертификаты ключей проверки электронных подписей и выдает такие сертификаты лицам, обратившимся за их получением (заявителям);

- устанавливает сроки действия сертификатов ключей проверки электронных подписей;

- аннулирует выданные этим удостоверяющим центром сертификаты ключей проверки электронных подписей;

- выдает по обращению заявителя средства электронной подписи, содержащие ключ электронной подписи и ключ проверки электронной подписи (в том числе созданные удостоверяющим центром) или обеспечивающие

возможность создания ключа электронной подписи и ключа проверки электронной подписи заявителем;

- ведет реестр выданных и аннулированных этим удостоверяющим центром сертификатов ключей проверки электронных подписей (далее — реестр сертификатов), в том числе включающий в себя информацию, содержащуюся в выданных этим удостоверяющим центром сертификатах ключей проверки электронных подписей, и информацию о датах прекращения действия или аннулирования сертификатов ключей проверки электронных подписей и об основаниях таких прекращений или аннулирования;

- устанавливает порядок ведения реестра сертификатов и порядок доступа к нему, а также обеспечивает доступ лиц к информации, содержащейся в реестре сертификатов;

- осуществляет проверку электронных подписей по обращениям участников электронного взаимодействия.

Для возможности подписания электронных документов (рис. 1) и проверки подписей других сотрудников (рис. 2, 3) необходимо предварительно получить электронный сертификат ключа НЭП, подключившись со своего компьютера к удостоверяющему центру. Для этого необходимо воспользоваться Консолью управления (рис. 4).

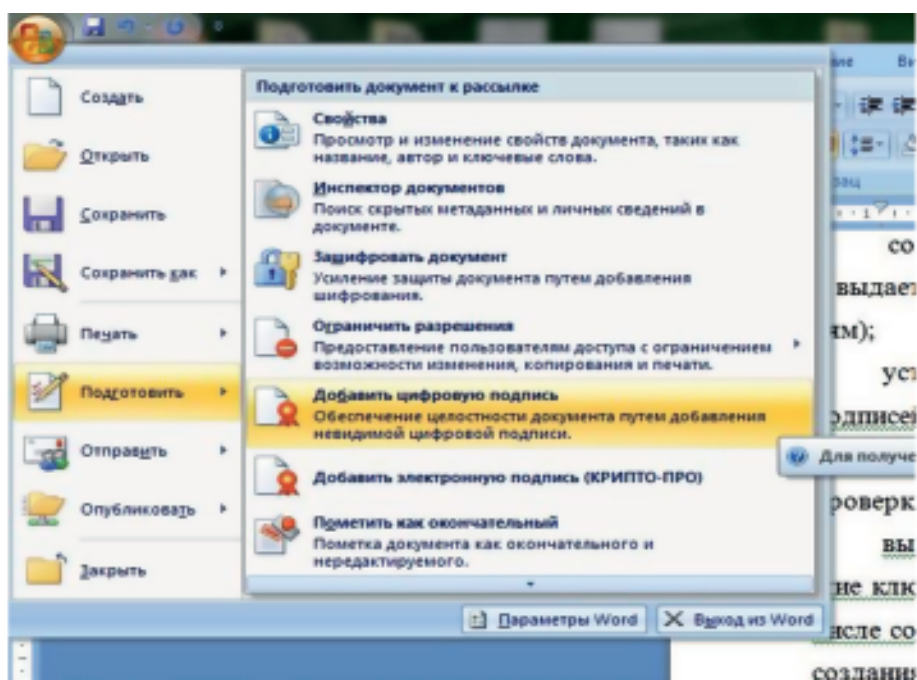


Рис. 1. Добавление электронной подписи к документу Word

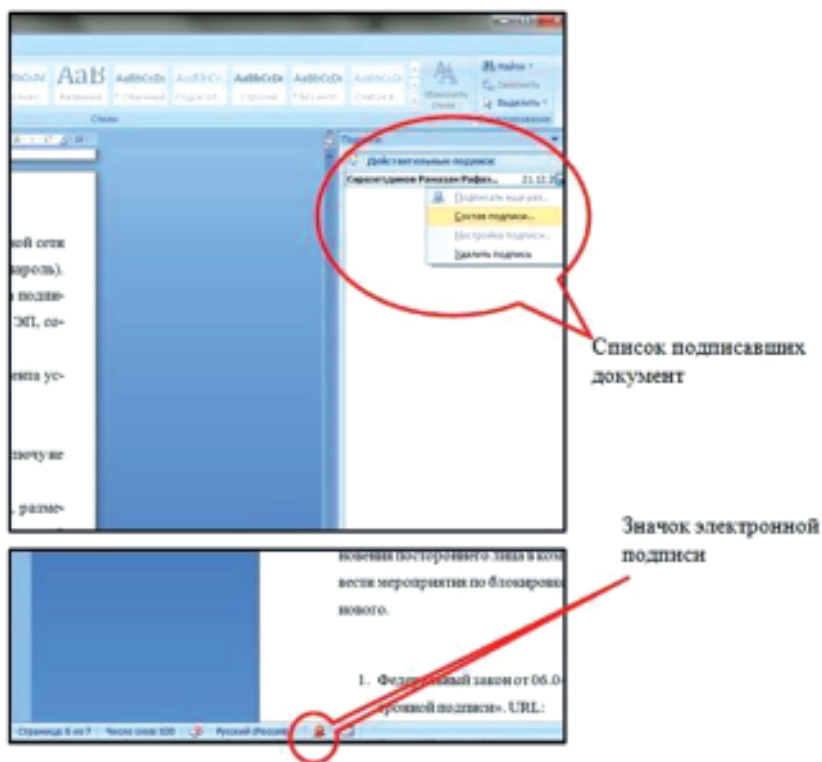


Рис. 2. Признаки электронной подписи.

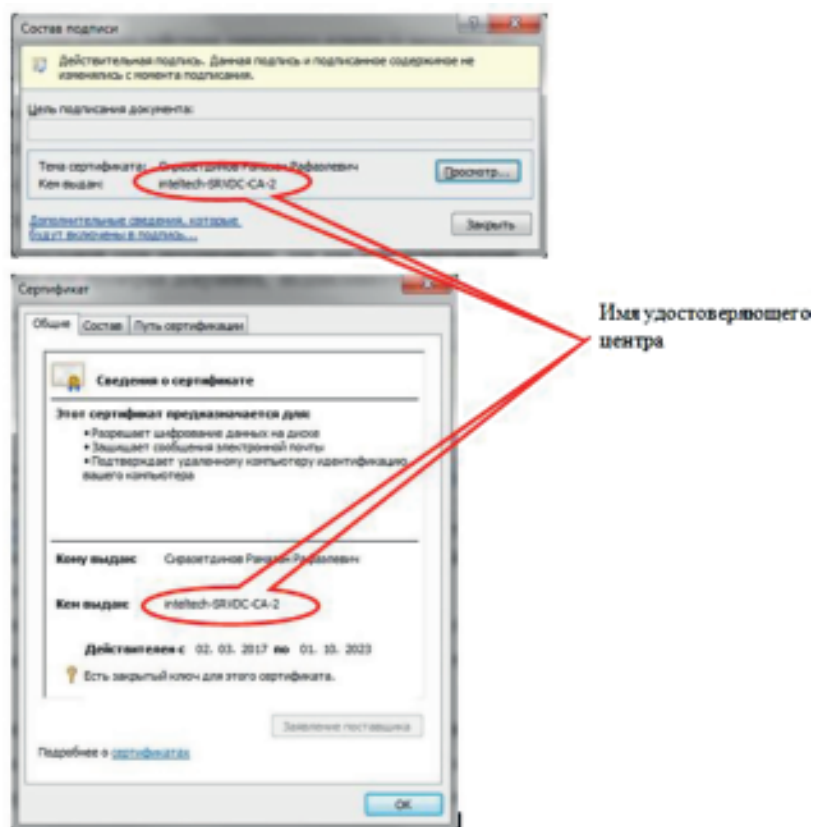


Рис. 3. Проверка подлинности электронной подписи

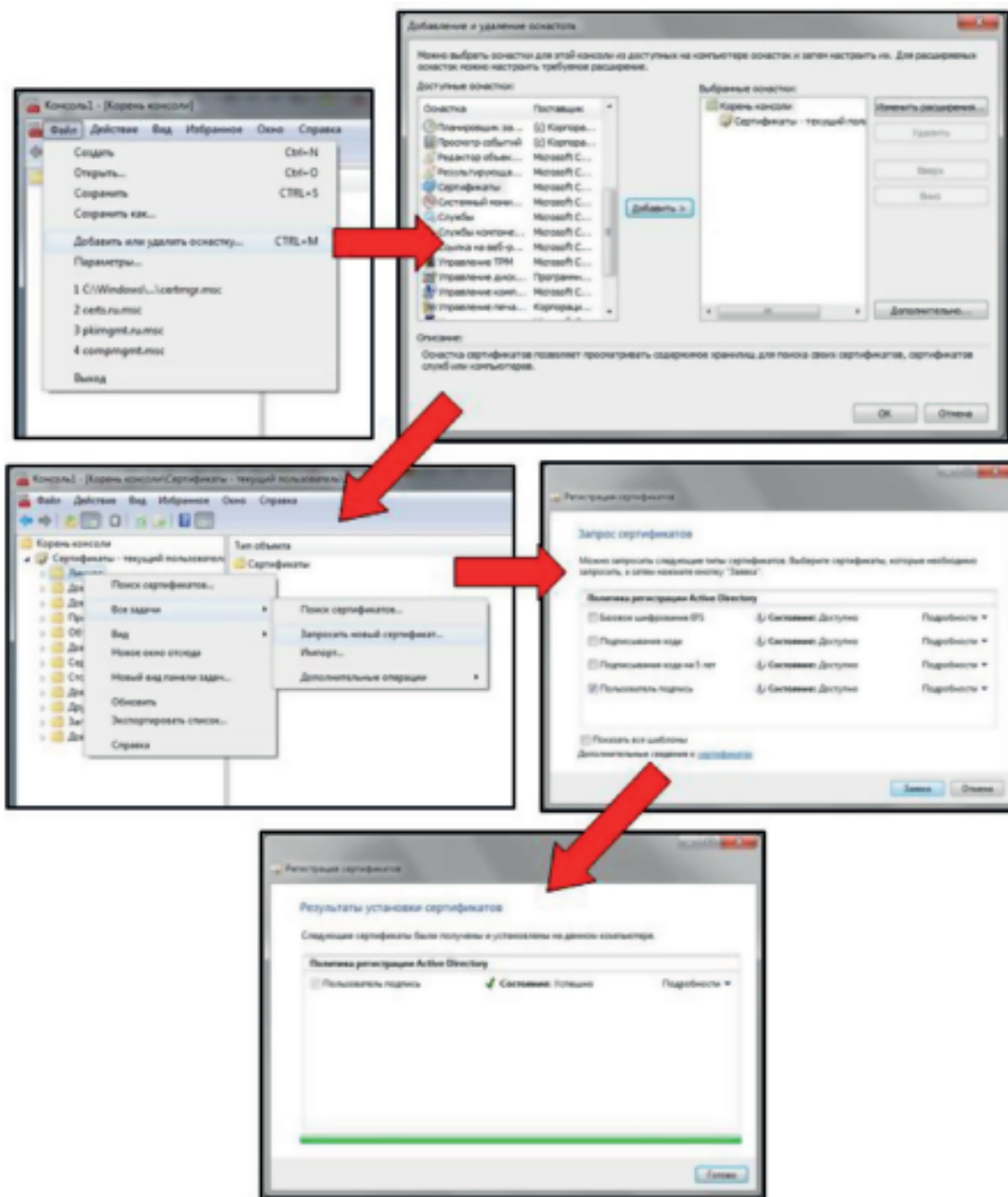


Рис. 4. Основные этапы получения сертификата ключа у удостоверяющего центра с помощью Консоли управления

Действие НЭП распространяется только на электронные документы, размещенные во внутренней локальной сети предприятия, так как удостоверяющий центр функционирует на сервере локальной сети предприятия.

Риск неправомерного подписания электронного документа ЭП несет участник ин-

формационной системы, на которого зарегистрирован сертификат ключа подписи.

В случае компрометации сертификата ключа проверки (например, проникновения постороннего лица в компьютер с целью копирования) необходимо провести мероприятия по блокировке старого сертификата ключа проверки и выдаче нового.

ЛИТЕРАТУРА

1. Федеральный закон от 06.04.2011 № 63-ФЗ (ред. от 23.06.2016) «Об электронной подписи». URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_112701/.
2. **Ипатов М. Е., Белоус Д. В., Сиразетдинов Р. Р.** Вариант корпоративного портала и системы электронного документооборота предприятия. // Новые информационные технологии в системах связи и управления: материалы XV Российской научно-технической конференции. — Калуга.— 2016. — С. 245–247.
3. **Ипатов М. Е., Белоус Д. В., Сиразетдинов Р. Р.** Организация работы с корпоративным порталом и системой электронного документооборота предприятия. // Новые информационные технологии в системах связи и управления: материалы XV Российской научно-технической конференции. — Калуга.— 2016. — С. 242–244.

А. А. Киселев

Кандидат технических наук, доцент, ПАО «Интелтех»

МОДЕЛИРОВАНИЕ СЕТИ СВЯЗИ ДЛЯ СТАЦИОНАРНЫХ И ДИНАМИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ

АННОТАЦИЯ. В работе отражены результаты разработки морфологической и функциональной моделей сети связи. Предложенный подход позволяет с единых позиций описать стационарный и динамический режим функционирования подсистем и уровней сети связи, с представлением ее основных характеристик, учитывать воздействие различных дестабилизирующих факторов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: сеть связи, морфологическая модель, функциональная модель, топологическое представление, агрегативная система.

Введение

Вывод о принципиальной работоспособности объекта и пригодности его для решения поставленных задач, оценку его предельно возможных характеристик, установку их зависимости от различных параметров и оптимизацию последних, позволяет сделать моделирование. При этом моделирование обеспечивает решение следующих основных задач:

синтез структуры некоторой системы и выбор оптимальных для нее параметров применительно к конкретным условиям;

определение количественных характеристик оптимальной системы, позволяющих оценить ее качество функционирования на базе некоторого критерия эффективности;

количественное сравнение реальных систем между собой, а также с теоретически оптимальной;

прогнозирование поведения реальной системы в процессе ее эксплуатации.

Современные методы моделирования ориентированы на использование компьютерных технологий, поэтому их реализация связана с выполнением ряда специфических требований. Основными требованиями, предъявляемыми к моделям сети связи являются [1]:

1) полнота модели, означающая возможность получения необходимого набора системных характеристик с требуемой точностью и достоверностью;

2) гибкость модели, т. е. возможность воспроизведения различных ситуаций при варьировании структуры, алгоритмов работы и параметров сети;

3) модульный принцип построения, предполагающий модификацию моделирующего алгоритма без переделки всей программы;

4) минимальная длительность разработки и программной реализации моделирующего комплекса, включая его отладку;

5) высокая производительность моделирующего комплекса, соответствующая требуемой степени детализации объекта моделирования и аппаратным возможностям используемых ЭВМ;

6) организация результативного диалога ЭВМ-пользователь, обеспечивающего интерактивное взаимодействие с программой и удобство работы с ней.

Разработанная в соответствии с этими требованиями модель должна допускать возможность проведения экспериментов для различных этапов жизненного цикла сети связи [2]:

до проектирования сети с целью определения чувствительности различных характеристик к изменению отдельных параметров или их совокупности;

на этапе проектирования сети для анализа и синтеза различных вариантов ее построения и выбора оптимального по заданному критерию эффективности варианта;

в процессе эксплуатации сети для определения адаптационных механизмов, снижающих последствия различного рода дестабилизирующих факторов.

Методологические основы исследования различных сложных систем, к числу которых относится и сеть связи, предполагают прежде всего разработку их морфологических и функциональных моделей [3].

1. Морфологическое представление сети связи

Морфологическое описание сети связи, характеризующее ее структуру, предусматривает рассмотрение указанной сети с точки зрения состава ее отдельных элементов и связей между ними. При этом морфологическое описание сети связи проведем с помощью ее топологического представления, формализуемого на основе теории графов [4]. Учитывая, что функционирование сети связи осуществляется в условиях воздействия различных дестабилизирующих факторов, ее морфологическая модель должна отражать взаимодействие сети связи и внешних воздействий на структурном уровне. С этих позиций и рассмотрим морфологическую модель сети связи.

Пусть сеть связи состоящая из S_c узлов (станций), соединенных линиями связи S_l , имеет в своем составе подсистему управления S_y , подсистему обеспечения S_o , резерв сил и средств S_p , функционирует в условиях воздействия различных дестабилизирующих факторов D . В качестве математической модели сети связи на уровне ее морфологического описания используем неориентированный взвешенный граф $G(A, B)$, множество A которого с мощностью $|A| = S_c + S_y + S_o + S_p + D$ ($A = \{a_i\}$, $i \in I = \{1, 2, \dots, (S_c + S_y + S_o + S_p + D)\}$) соответствует узлам (станциям), элементам подсистем управления, обеспечения, элементам резерва и воздействующим на них дестабилизирующим факторам, а отображение B множества A в A

($Ba_i \in A$, $i \in I = \{1, 2, \dots, S_l + D\}$) — линиям связи и воздействиям на них дестабилизирующих факторов.

Представим граф $G(A, B)$ в виде двух частных графов $G'(A, V)$ и $G''(L, W)$ (рис. 1). При этом $G'(A, V) \subset G(A, B)$, $G''(L, W) \subset G(A, B)$, $\forall a_i \in A$, $i \in I = \{1, (S_c + S_y + S_o + S_p + D)\}$, где множество L с мощностью $|L| = S_c + S_y + S_o + S_p$ ($L = \{1, (S_c + S_y + S_o + S_p)\}$) составляют узлы (станции), элементы подсистем управления, обеспечения, элементы резерва, а отображение W множества L в L ($Wl_i \in W$, $i \in I = \{1, S_l\}$) — линии связи, $L \subset A$, $V \cup W = B$.

Сопоставим каждой вершине $a_i \in A$, $A = \{a_i | i = 1, (S_c + S_y + S_o + S_p + D)\}$ графа $G(A, B)$ вес Θ_i из множества весов $\Theta = \{\Theta_i | i = 1, (S_c + S_y + S_o + S_p + D)\}$. В результате получим множество взвешенных вершин $\{a_i, \Theta_i | i = 1, (S_c + S_y + S_o + S_p + D)\}$. Каждому элементу множества $B = \{bi\}$, $i = 1, m$, где m — общее количество ребер графа $G(A, B)$, поставим в соответствие вес ω_i из множества весов $\Omega = \{\omega_i | i = 1, m\}$. В результате получим множество взвешенных ребер $\{b_i, \omega_i | i = 1, m\}$. Данные множества взвешенных узлов и ребер графа $G(A, B)$ определяют в совокупности характеристики сети связи в виде функций $G(\{A, \Theta\}, \{B, \Omega\})$, определенных на узлах и ребрах графа. При этом веса вершин зададим матрицей:

$$\Theta(G) = \|\Theta_1 \Theta_2 \dots \Theta_{S_c+S_y+S_o+S_p} \dots \Theta_{S_c+S_y+S_o+S_p+D}\|^T, \quad (1)$$

а веса ребер — квадратной матрицы порядка $(S_l + D)$:

$$\Omega(G) = \|\omega_{ij}\| \left(\omega_{ii} = 0; \quad i, j = 1, \overline{S_l + D} \right). \quad (2)$$

Элементы $\Theta_1, \dots, \Theta_{S_c+S_y+S_o+S_p}$ матрицы (1) соответствуют характеристикам узлов (станций), элементов подсистем управления, обеспечения, элементов резерва, а элементы $\Theta_{S_c+S_y+S_o+S_p+1}, \dots, \Theta_{S_c+S_y+S_o+S_p+D}$ — характеристикам дестабилизирующих воздействий. Ана-

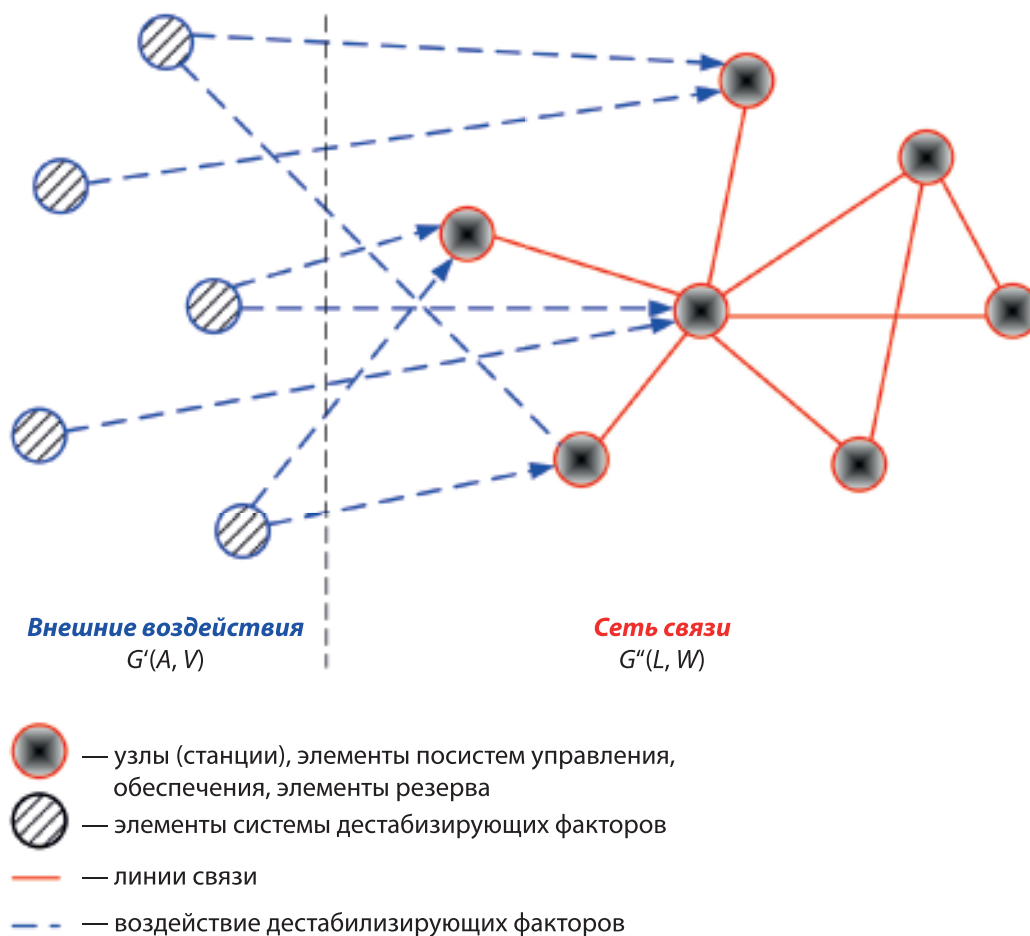


Рис. 1. Морфологическое представление сети связи в условиях воздействия дестабилизирующих факторов (вариант)

логичным образом представим элементы матрицы (2), характеризующие линию связи (элементы ω_{ij} , $i, j = \overline{1, S_{\text{л}}}$), и воздействующие на них дестабилизирующие факторы (элементы ω_{ij} , $i = \overline{1, S_{\text{л}}}$; $j = S_{\text{л}} + 1, \dots, S_{\text{л}} + D$ и ω_{ij} , $i = \overline{S_{\text{л}} + 1, S_{\text{л}} + D}$; $j = \overline{1, S_{\text{л}}}$). При этом значения ω_{ij} ($i = \overline{1, S_{\text{л}}}$; $j = \overline{S_{\text{л}} + 1, S_{\text{л}} + D}$) отражают характеристики разведзащищенности линии связи, а элементы ω_{ij} ($i = \overline{S_{\text{л}} + 1, S_{\text{л}} + D}$, $j = \overline{1, S_{\text{л}}}$) характеристики дестабилизирующих воздействий.

Основными характеристиками сети связи, определяемыми матрицами типа (1) и (2) графа $G(A, B)$, являются:

матрица координат местоположения узлов (станций), элементов подсистем управления, обеспечения, элементов резерва и источников дестабилизирующих воздействий:

$$K(G) =$$

$$= \left\| k_1 k_2 \dots k_{S_c + S_y + S_0 + S_p} \dots k_{S_c + S_y + S_0 + S_p + D} \right\|^T; \quad (3)$$

матрица ресурсов узлов (станций), элементов подсистем управления, обеспечения, элементов резерва и источников дестабилизирующих воздействий:

$$K(G) =$$

$$= \left\| k_1 k_2 \dots k_{S_c + S_y + S_0 + S_p} \dots k_{S_c + S_y + S_0 + S_p + D} \right\|^T; \quad (4)$$

матрица взаимного удаления между узлами (станциями), элементами подсистем управления, обеспечения, элементами резерва и между узлами (станциями), элементами подсистем управления, обеспечения, элементами резерва и источниками дестабилизирующих воздействий:

$$F(G) = \left\| f_{ij} \right\|$$

$$(f_{ij} = 0; j = \overline{1, S_c + S_y + S_0 + S_p + D}); \quad (5)$$

матрица связности узлов графа:

$$O(G) = \left\| o_{ij} \right\|$$

$$(o_{ij} = 0; i, j = \overline{1, S_c + S_y + S_0 + S_p + D}); \quad (6)$$

матрица вероятностей связи с требуемой достоверностью:

$$Q(G) = \left\| q_{ij}^{(\xi)} \right\|$$

$$(i, j = \overline{1, S_c + S_y + S_0 + S_p + D}; \xi = \overline{1, D}). \quad (7)$$

Аналогично определяются матрицы, характеризующие параметры подграфов $G'(A, V)$ и $G''(L, W)$. Так, одной из важнейших характеристик подграфа $G''(L, W)$ является матрица пропускных способностей между узлами (станциями):

$$H(G) = \left\| \eta_{ij} \right\| (i, j = \overline{1, S_c}). \quad (8)$$

Представленная морфологическая модель сети связи в полном объеме описывает ее структуру и взаимные связи ее элементов, при функционировании в условиях сложной помеховой обстановки, что позволяет производить на этой основе структурный анализ и синтез конкретной сети связи.

2. Функциональное представление сети связи

Исследование сети связи, как сложной иерархической системы, предполагает построение не только ее морфологической, но и функциональной модели, позволяющей проанализировать процесс ее поведения при воздействии различных дестабилизирующих факторов.

При создании функциональной модели сети связи важное место отводится выбору математического аппарата ее построения, являющейся связующим звеном от концептуального к формальному описанию процесса функционирования сети связи в условиях сложной помеховой обстановки.

Рассматривая сети связи с позиций эталонной модели взаимодействия открытых систем (ЭМВОС) [5] как сложную иерархическую систему, заметим, что в настоящее время отсутствует единое математическое описание процесса функционирования сети связи на различных уровнях иерархии (от физического до транспортного).

Так, например, при описании процессов изменения уровней сигналов и помех в линиях

связи на физическом уровне в качестве основного математического аппарата используются стохастические дифференциальные и конечно-разностные уравнения. При описании рассматриваемых на канальном уровне процессов вхождения в связь и восстановления связи в линиях связи в качестве математического аппарата широко используются дискретно-стохастические модели в виде вероятностных автоматов. На сетевом уровне при описании процессов передачи сообщений в качестве типовых математических схем используются непрерывно-стохастические модели систем массового обслуживания (СМО), а также стохастические разностные уравнения динамики очередей [6].

Вместе с тем, отсутствие единого формального описания элементов иерархической сложной системы, какой является сеть связи, существенно затрудняет создание общих методов ее исследования, а также определение единого подхода к анализу и синтезу сети связи. Кроме того, математическая модель сети связи должна позволять сочетать как аналитические, так и имитационные методы моделирования. Указанные обстоятельства должны найти отражение при выборе математического аппарата описания процесса функционирования сети связи. Формирование унифицированного математического аппарата, позволяющего описывать все уровни и элементы сети связи с единых позиций, является одной из основных проблем при построении ее функциональной модели.

В настоящее время наиболее универсальным подходом к формальному представлению сложных систем, элементы которых описываются различным математическим аппаратом, является подход, основанный на понятии агрегативной системы, представляющей формальную схему общего вида [7, 8]. При этом агрегативные системы позволяют с единых позиций описать процессы функционирования объектов (систем) с различной сложной структурой. Причем сложная система декомпозируется на конечное число подсистем с сохранением всех связей, обеспечивающих взаимодействие этих подсистем, а процесс декомпозиции продолжается до тех пор, пока не образуются подсистемы, удобные для математического описания с необходимой степенью их детализации. В результате такой декомпозиции исследуемый объект представляется в виде многоуровневой системы взаимосвязанных элементов.

Важным достоинством агрегативного подхода при его применении к построению функциональной модели сети связи, является возможность использования на различных уровнях иерархии сочетания методов аналитического и имитационного моделирования в рамках единой обобщенной функциональной модели сети связи. При этом, в качестве элементов агрегативной схемы выступают агрегаты A_i , взаимодействующие между собой по определенным правилам, определяемым операторами сопряжения агрегатов R .

В соответствии с этим подходом представим функциональную модель сети связи обобщенной агрегативной схемой (рис. 2). На рисунке модель сети связи представлена в виде совокупности агрегатов, отражающих ее уровни с позиций ЭМВОС.

Агрегаты $A_{\Phi(2)}$ являются элементами физического уровня сети связи и моделируют процессы приема (передачи) первичных электрических сигналов через среду распространения радиоволн при воздействии различных дестабилизирующих факторов. Агрегаты $A_{K(2)}$ отражают второй (канальный) уровень сети связи и моделируют процессы образования канала между корреспондентами. Агрегаты $A_{Ц(2)}$ и $A_{C(2)}$ моделируют процессы, протекающие на

сетевом уровне сети связи. Агрегаты $A_{T(2)}$ обеспечивают моделирование процессов транспортного уровня сети связи.

Воздействие на сеть связи внешней среды, представляющей совокупность подсистем системы внешних воздействий (случайные, преднамеренные помехи, различные ионосферные возмущения и изменения и т. п.), моделируется с помощью агрегата внешних воздействий $A_{ВВ}$, оказывающего влияние на процесс функционирования сети связи через агрегат физического уровня $A_{\Phi 1}$. Агрегаты $A_{Y(2)}$ моделируют процессы управления сетью связи на различных уровнях иерархии.

В свою очередь, каждый их представленных агрегатов также является сложной системой и рассматривается как совокупность агрегатов более низкого уровня. Так, например, агрегат $A_{Ц1}$ представлен совокупностью агрегатов, описывающих процессы обслуживания сообщений на узлах связи (станциях) и их передачу по каналу связи (рис. 3). При этом агрегат $A_0^{(1)}$ моделирует процессы формирования очереди поступающих на узлы связи (станции) заявок, агрегаты $A_1^{(1)}$ — процессы обслуживания заявок на узлах связи (станциях), а агрегаты $A_{ПЕР}^{(1)}$ — процессы передачи сообщений по каналу. Агрегат $A_Y^{(1)}$ моделирует процессы управления узлом связи (станцией).

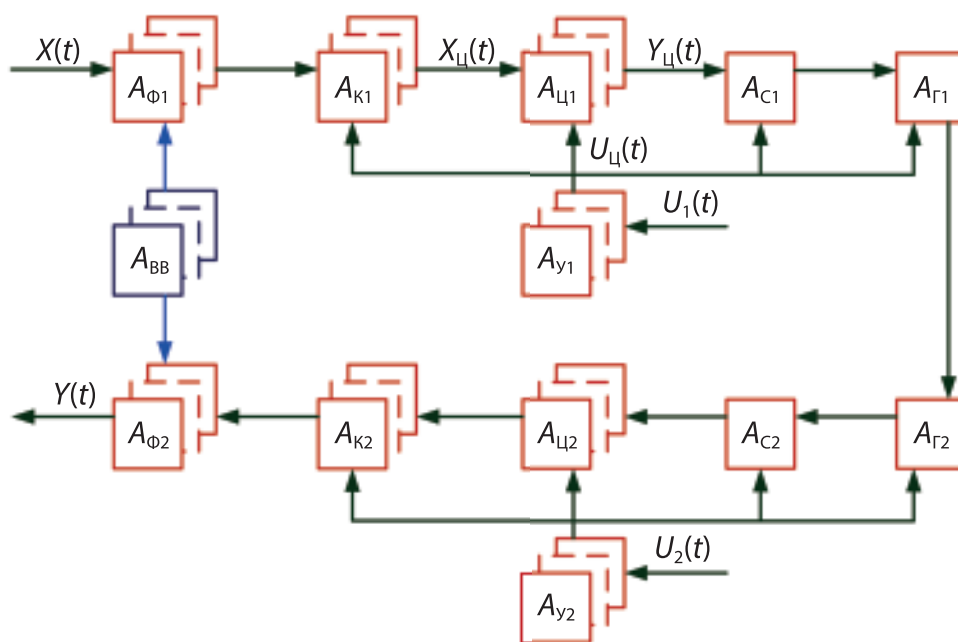


Рис. 2. Обобщенная функциональная модель сети связи в виде агрегативной схемы

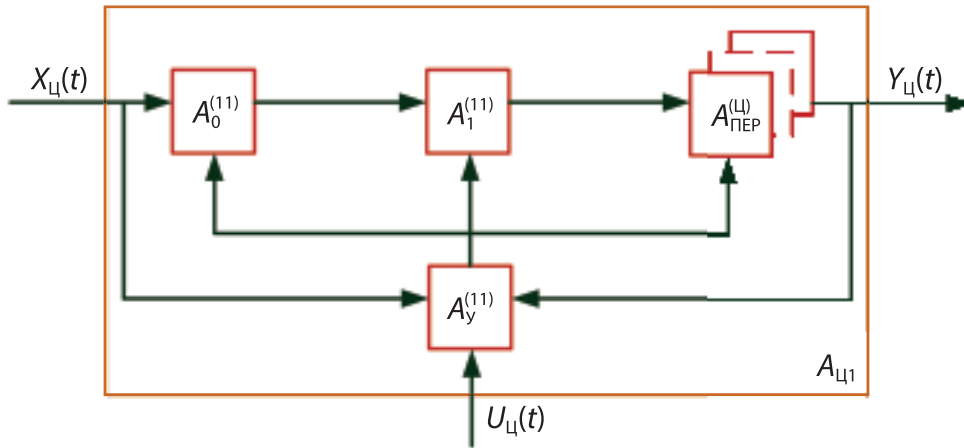


Рис. 3. Обобщенная функциональная модель узла связи (станции) в виде агрегативной схемы

Используя предложенный в [8] агрегативный подход к построению функциональной модели сети связи и ее элементов, определим каждый агрегат множествами T, U, Y, X, Z и случайными операторами переходов k и выходов ζ , где $T = (t_i)$ — множество рассматриваемых моментов времени; $U = (u_i)$ — управляющее множество; $Y = (y_i)$ — выходное множество; $X = (x_i)$ — входное множество; $Z = (z_i)$ — множество состояний.

Для описания динамического процесса функционирования сети связи, модель которой представлена агрегативной системой, введем пространство параметров сети связи $B = (\beta_i)$. При этом переход агрегата из состояния в состояние определяется его параметрами $\beta(t) \in B$, а также выходными сигналами $x(t) \in X$ и сигналами управления $u(t) \in U$. Случайный оператор k реализует динамику переходов агрегативной системы из одного состояния в другое, а случайный оператор ζ — динамику выходных сигналов.

Пусть $\Omega = (\omega_i)$ — пространство элементарных случайных событий с вероятностной мерой $p(\omega_i)$, где ω_i — элементарное случайное событие. Тогда динамика переходов агрегативной системы из состояния в состояние определяется зависимостью:

$$Z(t) = k \left\{ t_0, t, Z(t_0, \omega_0), B(t_0, \omega_1), (t, x_L) \int_{t_0}^t, \omega_2, (t, u_F) \int_{t_0}^t, \omega_3 \right\}, \quad (9)$$

где $Z(t_0, \omega_0)$ — начальное состояние системы; $B(t_0, \omega_1)$ — параметры системы в момент t_0 ; $(t, x_L) \int_{t_0}^t$ — возможный участок входного процесса $X = L(t)$, соответствующий интервалу $\int_{t_0}^t$; $(t, u_F) \int_{t_0}^t$ — участок процесса управления $U = \zeta(t)$, соответствующий интервалу $\int_{t_0}^t$; $\omega_0, \dots, \omega_3$ — элементарные случайные события, выбираемые из Ω в соответствии с вероятностными мерами $p(\omega_0), \dots, p(\omega_3)$. Это означает, что случайный оператор k переводит прямое произведение множеств $(U \times B \times X)$ в множество Z , зависящее от $\omega \in \Omega$, а каждому $\omega \in \Omega$ ставится в соответствие некоторый конкретный оператор k , реализующий отображение $(U \times B \times X) \rightarrow Z$. При этом оператор k удовлетворяет следующим условиям [8]:

1) $\forall t_0 \in T, Z(t_0, \omega_0) \in Z, B(t_0, \omega_1) \in B, (t, x_L)_T \in \{(t, x_L)_T\}, (t, u_F)_T \in \{(t, u_F)_T\}$, (где $\{(t, x_L)_T\}$ и $\{(t, u_F)_T\}$ — множества возможных участков входного процесса и процесса управления соответственно) при $t = t_0$ справедливо равенство:

$$k \left\{ t_0, t_0, Z(t_0, \omega_0), B(t_0, \omega_1), (t, x_L) \int_{t_0}^{t_0}, \omega_2, (t, u_F) \int_{t_0}^{t_0}, \omega_3 \right\} = Z(t_0). \quad (10)$$

2) $\forall (t, x_{L1})_T, (t, x_{L2})_T, (t, u_{F1})_T, (t, u_{F2})_T, \dots$
 $(t, x_{L1}) \int_{t_0}^t = (t, x_{L2}) \int_{t_0}^t, (t, u_{F1}) \int_{t_0}^t = (t, u_{F2}) \int_{t_0}^t$ при равенстве $\omega_0, \dots, \omega_3$ процессов $X_1(t)$ и $X_2(t), U_1(t)$ и $U_2(t)$ выполняется условие:

$$\begin{aligned} & \kappa \left\{ t_0, t, Z(t_0, \omega_0), B(t_0, \omega_1), (t, x_{L1}]_{t_0}^t, \omega_2, \right. \\ & \left. (t, u_{F1}]_{t_0}^t, \omega_3 \right\} = \kappa \left\{ t_0, t, Z(t_0, \omega_0), B(t_0, \omega_1), \right. \\ & \left. (t, x_{L2}]_{t_0}^t, \omega_2, (t, u_{F2}]_{t_0}^t, \omega_3 \right\}. \end{aligned} \quad (11)$$

3) $\forall t_0, t_1, t_2 \in T : t_0 \leq t_1 \leq t_2$ справедливо равенство:

$$\begin{aligned} & \kappa \left\{ t_0, t_2, Z(t_0, \omega_0), B(t_0, \omega_1), (t, x_L]_{t_0}^{t_2}, \omega_2, \right. \\ & \left. (t, u_F]_{t_0}^{t_2}, \omega_3 \right\} = \kappa \left\{ t_1, t_2, Z(t_1, \omega_0), B(t_1, \omega_1), \right. \\ & \left. (t, x_L]_{t_1}^{t_2}, \omega_2, (t, u_F]_{t_1}^{t_2}, \omega_3 \right\}, \end{aligned} \quad (12)$$

где $(t, x_L]_{t_0}^{t_2}$ — результат объединения участков $(t, x_L]_{t_0}^{t_1}$ и $(t, x_L]_{t_1}^{t_2}$.

С учетом того, что

$$\begin{aligned} & \kappa \left\{ t_0, t_1, Z(t_0, \omega_0), B(t_0, \omega_1), (t, x_L]_{t_0}^{t_1}, \right. \\ & \left. \omega_2, (t, u_F]_{t_0}^{t_1}, \omega_3 \right\} = Z(t_1), \end{aligned} \quad (13)$$

равенство (12) примет вид:

$$\begin{aligned} & \kappa \left\{ t_0, t_2, Z(t_0, \omega_0), B(t_0, \omega_1), (t, x_L]_{t_0}^{t_2}, \omega_2, \right. \\ & \left. (t, u_F]_{t_0}^{t_2}, \omega_3 \right\} = \kappa \left\{ t_1, t_2, \kappa \left\{ t_0, t_1, Z(t_0, \omega_0), \right. \right. \\ & \left. \left. B(t_0, \omega_1), (t, x_L]_{t_0}^{t_1}, \omega_2, (t, u_F]_{t_0}^{t_1}, \omega_3 \right\}, \right. \\ & \left. B(t_1, \omega_1), (t, x_L]_{t_1}^{t_2}, \omega_2, (t, u_F]_{t_1}^{t_2}, \omega_3 \right\}. \end{aligned} \quad (14)$$

При этом выражения (13) и (14) позволяют представить процессы $X(t), U(t), t \in]t_0, t_2]$ совокупностью процессов $X(t'), U(t')$ и $X(t''), U(t''), t' \in]t_0, t_1], t'' \in]t_1, t_2]$. Это дает возможность анализировать функционирование сети связи отдельно на участках $t \in]t_0, t_1]$ и $t \in]t_1, t_2]$ с их последующим объединением, что существенно упрощает описание сложных динамических процессов, протекающих при моделировании сети связи.

Случайный оператор выходов агрегативной системы ζ представим в виде:

$$\begin{aligned} Y(t) = & \zeta \left\{ t_0, t_1, Z(t_0, \omega_0), B(t_0, \omega_1), \right. \\ & \left. (t, x_L]_{t_0}^{t_1}, \omega_2, (t, u_F]_{t_0}^{t_1}, \omega_3 \right\}. \end{aligned} \quad (15)$$

При этом области операторов ζ и κ совпадают:

$$\zeta : \left\{ (t_0, t) \right\} \times Z \times B \times \left\{ t, x_L \right\}_T \times \left\{ t, u_F \right\}_T \rightarrow Y, \quad (16)$$

$$\kappa : \left\{ (t_0, t) \right\} \times Z \times B \times \left\{ t, x_L \right\}_T \times \left\{ t, u_F \right\}_T \rightarrow Z, \quad (17)$$

а области их значений различны.

Так, если отображение (17), реализуемое оператором переходов κ , имеет место при каждом значении $t > t_0, t \in T$ (т. е. сеть связи в каждый момент времени находится в одном из возможных состояний), то отображение (16), реализуемое оператором выходов ζ , может иметь место не в каждый момент времени.

В прямом произведении множеств $Y \times Z$ выберем произвольную точку (y, z) . Так как операторы ζ и κ имеют одинаковые области определения $\left\{ (t_0, t) \right\} \times Z \times B \times \left\{ t, x_L \right\}_T \times \left\{ t, u_F \right\}_T$, введем оператор H^* :

$$\begin{aligned} (y, z, t) = & H^* \left\{ t_0, t_1, Z(t_0, \omega_0), B(t_0, \omega_1), \right. \\ & \left. (t, x_L]_{t_0}^{t_1}, \omega_2, (t, u_F]_{t_0}^{t_1}, \omega_3 \right\}, \end{aligned} \quad (18)$$

реализуемый отображением:

$$\left\{ (t_0, t) \right\} \times Z \times B \times \left\{ t, x_L \right\}_T \times \left\{ t, u_F \right\}_T \rightarrow Y \times Z, \quad (19)$$

и интерпретируемый как оператор переходов с расширенным множеством состояний $Y \times Z$. При этом оператор H^* является оператором функционирования сети связи и описывает динамику изменения состояний сети при представлении ее функциональной модели агрегативной системой. Процесс функционирования сети связи в условиях сложной помеховой обстановки при воздействии всего комплекса дестабилизирующих факторов представляется в этом случае отображением $(y, z) = H^*(t)$, реализуемым оператором H^* при фиксированных значениях $t_0, Z(t_0), B(t_0), (t, x_L)_T, (t, u_F)_T$; $(y, z) \in Y \times Z$.

Предложенная функциональная модель сети связи в виде агрегативной системы позволяет с единых позиций описать динамику функционирования подсистем и уровней сети связи, использовать сочетание методов аналитического и имитационного моделирования при анализе и синтезе сети связи, анализировать процесс функционирования сети связи в нестационарных условиях. Представленная модель может

быть положена в основу для разработки математических моделей сети связи на различных иерархических уровнях.

Заключение

Морфологическая модель сети связи представлена с точки зрения основных положений системного анализа, в основе которого положен системный подход. Предлагаемая модель достаточно полно показывает структуру сети связи, а также взаимные связи ее элементов в условиях воздействия различных дестабилизирующих факторов. Такой подход позволяет проводить на этой основе как анализ структуры сети, так и синтез определенной сети связи.

Агрегативный подход при разработке функциональной модели сети связи позволяет с единых системных позиций ЭМВОС описать нестационарный режим функционирования подсистем и уровней сети связи, используя при этом сочетание методов аналитического и имитационного моделирования.

В совокупности представленные морфологическая и функциональная модели сети связи позволяют осуществить:

синтез структуры сети связи и обоснованное определение оптимальных для нее параме-

тров применительно к конкретным условиям с учетом воздействия дестабилизирующих факторов;

определить качество функционирования сети связи по ее количественным характеристикам;

качественное и количественное сравнение проектируемых и (или) действующих сетей связи систем между собой, а также с теоретически оптимальной сетью связи;

прогнозирование поведения проектируемой или действующей сети связи в процессе ее эксплуатации.

Разработанная модель представляет следующие возможности:

до проектирования сети связи позволяет определить чувствительность основных характеристик к изменению отдельных параметров или их совокупности;

в ходе проектирования сети связи позволяет осуществить анализ или синтез различных вариантов ее построения и выполнить обоснованный выбор рационального варианта по заданному критерию эффективности;

в процессе эксплуатации сети связи может служить инструментом определения адаптационных механизмов, позволяющих максимально уменьшать последствия воздействий различного рода дестабилизирующих факторов.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Коннов А. Л., Ушаков Ю. А.** Методы расчета показателей производительности сетей ЭВМ с неоднородным трафиком. Монография. — Оренбург: ОГУ, 2013. — 139 с.
2. **Губко М. В.** Математические модели оптимизации иерархических структур. — М.: ЛЕНАД, 2006. — 264 с.
3. **Петухов Г. Б., Якунин В. И.** Методологические основы внешнего проектирования целенаправленных процессов и целеустремленных систем. — М.: АСТ, 2006. — 504 с.
4. **Берзин Е. А.** Элементарные решения неэлементарных задач на графах. Под ред. А. Н. Кудинова. — Тверь: ТГТУ, 2005. — 136 с.
5. ГОСТ Р ИСО/МЭК 7498–99. Взаимосвязь открытых систем. Базовая эталонная модель.
6. **Мышкис А. Д.** Элементы теории математических моделей. — М.: КомКнига, 2007. — 192 с.
7. **Новосельцев В. И.** и др. Теоретические основы системного анализа. Под ред. В. И. Новосельцева. — М.: Майор, 2006. — 592 с.
8. **Колесников А. А.** Последовательная оптимизация нелинейных агрегированных систем управления. — М.: Энергоатомиздат, 1987. — 160 с.

Д. В. Киселев

Адъюнкт, Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного

О ПОДХОДЕ К ОЦЕНКЕ РАБОТОСПОСОБНОГО СОСТОЯНИЯ ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫХ КОМПЛЕКСОВ СВЯЗИ

АННОТАЦИЯ. Большинство современных образцов техники связи представляют собой программно-аппаратные комплексы. В данной статье рассматривается их надежность с позиций присущих им функциональных отказов. Рассматривается подход к оценке работоспособности на основе разделения составных средств комплекса на функциональные подсистемы. Выдвигается предположение о возможности его применения.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Программно-аппаратный комплекс связи, надежность программно-аппаратных комплексов, работоспособное состояние, критерий работоспособности, функциональный отказ.

В силу научно-технического прогресса наблюдается устойчивая тенденция к значительному усложнению техники, что, во-первых, позволяет решать вновь возникающие задачи в соответствии с целевым предназначением и, во-вторых, делает ее многофункциональной. В то же время степень ответственности за выполнение и тем более невыполнение объектом требуемых функций соизмеримо возрастает. В связи с этим вопросы надежности любых технических объектов и в частности программно-аппаратных комплексов связи (ПАКС) не теряют своей актуальности.

Когда речь идет о надежности, в центре внимания всегда находятся такие понятия, как работоспособное состояние и отказ. В соответствии с целевым назначением изделия и с точки зрения эксплуатирующей стороны наиболее важным является нахождение ПАКС в работоспособном состоянии. Согласно стандарту [1] под работоспособным состоянием понимается состояние, в котором объект способен выполнять требуемые функции. При этом объект может быть способен выполнять одни функции и одновременно не способен выполнять другие — в этом случае считается, что он находится в частично работоспособном состоянии. Требуемые функции и критерии их выполне-

ния должны быть установлены в нормативной, конструкторской, проектной, контрактной или иной документации на объект.

На практике нередко встречаются случаи, когда заявленные требования по надежности (безотказности, ремонтпригодности, готовности) ПАКС на этапе эксплуатации не подтверждаются [2]. Особенно часто это случается в начальный период этого этапа после ввода в эксплуатацию вновь разработанного или модернизированного образца, когда проявляются необнаруженные на этапе отладки ошибки программного обеспечения (ПО). Одна из причин, объясняющих данный факт, состоит в том, что модель надежности ПАКС строится на математическом аппарате классической (структурной) надежности [3], которая достигла внушительных результатов в области исследования процессов отказов и восстановлений технических (аппаратных) средств. При всей обширности решаемых проблем методология структурной надежности не ориентирована на исследование функциональных отказов.

Функциональный отказ — это событие невыполнения функциональной задачи вследствие нарушения информационного процесса, который может возникнуть вследствие

ошибок в программных средствах, ошибок во входной информации, ошибок человека-оператора, сбойных ошибок цифровой аппаратуры и пр. [4].

Как же устанавливать критерии выполнения требуемых функций, о которых говорится в определении термина «надежность» в действующем стандарте [1], который пришел на смену парадигме, установленной прежней редакцией [5]. И как потом оценивать надежность ПАКС? С одной стороны, как средства связи, они предназначены для передачи, приема, сбора, обработки, хранения информации (сообщений) в системе связи, являющейся подсистемой системы управления. С другой стороны, они содержат в себе наряду с аппаратными средствами программное и информационное обеспечение, которые реализуют выполнение значительной части функций, а показатели их надежности влияют на надежность комплекса в целом. Имеет смысл искать ответ на данный вопрос, используя методы функциональной надежности как составной части общей теории надежности [6].

Один из подходов, который закреплен в стандарте [7], распространяющемся на автоматизированные системы управления (АСУ), состоит в следующем. Для многофункциональной АСУ рассчитывается надежность относительно каждой функции. С этой целью устанавливается перечень функций и видов их отказов, а также критериев этих отказов. Уровень надежности системы оценивается в зависимости от надежности и других свойств технических (аппаратных) средств, программного обеспечения и персонала, участвующего в функционировании системы. Для расчета надежности АСУ из ее состава выделяются функциональные подсистемы (ФП), каждая из которых решает одну конкретную задачу и содержит необходимые для этого технические, программные средства и определенный персонал. Анализ надежности всей системы проводят для каждой ФП с учетом надежности ее составных средств. В качестве показателей надежности используют показатели надежности реализации функций. Так, в качестве единичного показателя безотказности системы относительно непрерывно-выполняемой функции (*H*-функции) вводится вероятность безотказной работы *i*-й ФП в течение заданного времени, а также показатели средней наработки до отказа, наработки на отказ, интенсивности отказов и параметра

потока отказов. В качестве комплексных показателей надежности используют коэффициенты готовности, технического использования и сохранения эффективности каждой *i*-й ФП. Например, на рис. 1 в каждой функциональной подсистеме обозначены объекты, участвующие в выполнении функции этой подсистемы. В выполнении функции ФП 1 участвуют объекты 1, 2, 3, 5 системы. Стрелки — это связи между объектами. Так, в ФП 1 входной информацией для объекта 3 являются выходные результаты работы объектов 2 и 5.

Рассмотренный подход есть не что иное как попытка с позиций структурной надежности объединить надежность технических средств и надежность выполнения информационных процессов в АСУ. Данному подходу присущи недостатки [6], которые затрудняют его применение в таком виде для оценки надежности ПАКС. Причины этого заключаются в следующем. Разделение многофункциональных ПАКС на ряд ФП не подкрепляется обоснованными критериями разделения, кроме одного — каждая ФП должна обеспечивать решение одной предусмотренной функциональной задачи. Однако элементы ФП могут практически одновременно участвовать в решении нескольких функциональных задач, т. е. взаимодействовать с другими ФП. Это означает взаимную коррелированность ФП, а, следовательно, и коррелированность их показателей надежности. Реальные уровни надежности ФП могут быть отличны от расчетных значений.

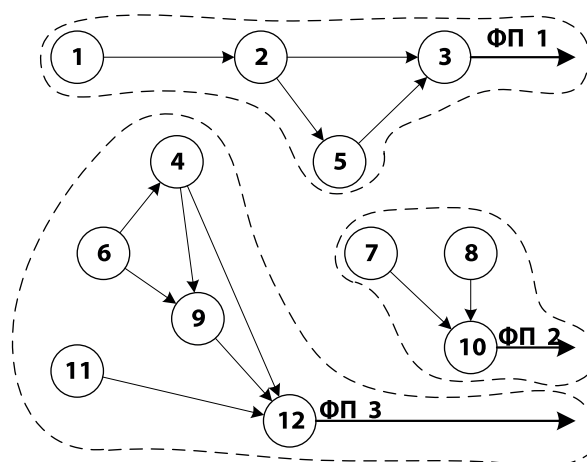


Рис. 1. Пример распределения составных средств системы на функциональные подсистемы

Тем не менее данный подход может быть взят за основу и адаптирован для ПАКС, частично работоспособное состояние для которых актуально. Так, оценка надежности выполнения отдельных функций может позволить прийти к выводу о целесообразности продолжения при-

менения по назначению при функциональном отказе по одной функции (группе функций) при работоспособности других, что поможет избежать негативных последствий вынужденного простоя, пока изделие находилось бы на ремонте.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 27.002-2015. Надежность в технике. Термины и определения.
2. **Киселев Д. В., Седличенко В. Г., Семенов С. С.** Актуальные вопросы надежности программно-аппаратных средств и комплексов связи / Проблемы технического обеспечения войск в современных условиях. Труды научно-практической конференции. Военная академия связи, 2016. С. 222–224
3. **Шубинский И. Б.** Структурная надежность информационных систем. Методы анализа. — М.: Журнал «Надежность», 2012.— 216 с.
4. **Шубинский И. Б., Шебе Х.** О понятии функциональной надежности // Надежность. 2012. № 4. С. 74–84.
5. ГОСТ 27.002–89. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения. — М.: Изд-во стандартов, 1989.— 36 с.
6. **Шубинский И. Б.** Функциональная надежность информационных систем. Методы анализа. — М.: Журнал «Надежность», 2012.— 296 с.
7. ГОСТ 24.701-86. Единая система стандартов автоматизированных систем управления. Надежность автоматизированных систем управления. Основные положения.

И. С. Козин

ПАО «Интелтех»

А. А. Рошин

Кандидат технических наук, доцент, ПАО «Интелтех»

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПАСНОСТИ УГРОЗЫ ПЕРСОНАЛЬНЫМ ДАННЫМ ЛИЧНОГО СОСТАВА ОБЪЕКТА

АННОТАЦИЯ. Предложен метод определения опасности угрозы персональным данным личного состава различных объектов Вооружённых Сил Российской Федерации, в том числе Военно-морского флота. Предложенный метод позволяет подготовить перечень опасных угроз с учётом степени важности объекта защиты, опасности деструктивных воздействий, а также важности отдельных характеристик безопасности объекта защиты.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: модель угроз, персональные данные, информационная система, опасность угроз, характеристики безопасности.

Введение

В течение последних 10 лет активно обсуждаются вопросы защиты персональных данных (ПДн) при их обработке в информационных системах персональных данных (ИСПДн). Начало развитию современной системы нормативно-правовых актов, регламентирующих процессы обработки и защиты персональных данных, положил Федеральный закон о персональных данных [1]. Закон следующим образом определяет основные понятия:

ПДн — это любая информация, относящаяся к прямо или косвенно определенному или определяемому физическому лицу (субъекту персональных данных);

ИСПДн — это совокупность содержащихся в базах данных персональных данных и обеспечивающих их обработку информационных технологий и технических средств;

оператор — государственный орган, муниципальный орган, юридическое или физическое лицо, самостоятельно или совместно с другими лицами организующие и (или) осуществляющие обработку ПДн, а также определяющие цели обработки ПДн, состав ПДн, подлежащих обработке, действия (операции), совершаемые с ПДн.

Нарушение безопасности ПДн может привести к значительным негативным последствиям для субъекта ПДн. В соответствии с законодательством РФ [1], оператор при обработке ПДн обязан принимать необходимые правовые, организационные и технические меры или обеспечивать их принятие для защиты ПДн от неправомерного или случайного доступа к ним, уничтожения, изменения, блокирования, копирования, предоставления, распространения ПДн, а также от иных неправомерных действий в отношении ПДн.

Построение системы защиты персональных данных

При построении системы защиты ПДн при их обработке в ИСПДн применяются требования, установленные Правительством РФ [2], методические документы ФСТЭК России [3–6] и ФСБ России [7–9]. В соответствии с этими документами должен быть разработан перечень организационных и технических мер, направленных на обеспечение безопасности ПДн при их обработке в ИСПДн. Порядок подготовки перечня защитных мер включает в себя следующие основные этапы:

разработка модели нарушителя и модели угроз безопасности ПДн;

определение уровня защищённости ПДн, который необходимо обеспечить;

формирование перечня мер защиты.

На этапе разработки модели нарушителя и модели угроз подготавливаются описание возможностей нарушителя (уровень доступа, техническая вооружённость, информированность и т. п.) и перечень потенциальных угроз (выборка из предложенного набора на основе определённых характеристик ИСПДн).

Определение уровня защищённости ПДн при их обработке в ИСПДн осуществляется на основе проведения анализа следующих исходных данных:

актуальность угроз, связанных с наличием в программном обеспечении недеklarированных возможностей;

категории ПДн, обработка которых осуществляется в ИСПДн (в т. ч. определение принадлежности к сотрудникам оператора ПДн);

количество субъектов ПДн, обработка ПДн которых осуществляется в ИСПДн.

Определение состава организационных и технических мер защиты включает в себя следующие основные этапы:

определение базового набора мер;

адаптацию базового набора мер;

уточнение адаптированного базового набора мер;

дополнение уточнённого адаптированного базового набора мер.

Определение базового набора мер осуществляется на основе установленного уровня защищённости ПДн в соответствии с базовыми наборами мер по обеспечению безопасности ПДн.

Адаптация базового набора мер осуществляется с учетом структурно-функциональных характеристик и особенностей функционирования ИСПДн, применяемых информационных технологий. На этом этапе осуществляется исключение мер, непосредственно связанных с информационными технологиями, не используемыми в ИСПДн, или структурно-функциональными характеристиками, не свойственными защищаемой ИСПДн. При невозможности технической реализации отдельных выбранных мер, а также с учетом экономической целесообразности могут разрабатываться компенсирующие меры, направленные на нейтрализацию

актуальных угроз безопасности ПДн. Применение компенсирующих мер должно быть обосновано.

Уточнение адаптированного базового набора мер осуществляется с учетом невыбранных ранее мер, использование которых обеспечит перекрытие всех актуальных угроз безопасности ПДн для конкретной ИСПДн. Так же как и на этапе адаптации, при невозможности технической реализации отдельных выбранных мер, могут разрабатываться обоснованные компенсирующие меры. В случае определения в качестве актуальных угроз безопасности ПДн 1-го и 2-го типов дополнительно к мерам по обеспечению безопасности ПДн могут применяться следующие меры:

проверка системного и (или) прикладного ПО, включая программный код, на отсутствие недеklarированных возможностей;

тестирование ИСПДн на проникновения;

использование в ИСПДн системного и (или) прикладного программного обеспечения, разработанного с использованием методов защищенного программирования.

Указанные меры применяются для обеспечения безопасности ПДн по решению оператора. При этом до разработки и утверждения ФСТЭК России методических документов по реализации указанных мер порядок их применения, а также форма и содержание документов определяются оператором самостоятельно.

Дополнение уточнённого адаптированного базового набора мер осуществляется путём выбора мер, обеспечивающих выполнение требований к защите ПДн, установленных иными нормативно правовыми актами в области обеспечения безопасности ПДн и защиты информации. При использовании в ИСПДн новых информационных технологий и выявлении дополнительных угроз безопасности ПДн, для которых не определены меры обеспечения их безопасности, должны разрабатываться компенсирующие меры.

Схематично принятый порядок определения мер защиты ПДн при их обработке в ИСПДн представлен на рис. 1.

На этапе разработки модели угроз осуществляется определение опасности потенциальной угрозы путём вербальной интерпретации экспертной оценки. Состав потенциальных угроз зависит от типа ИСПДн, обусловленного техническими характеристиками ИСПДн

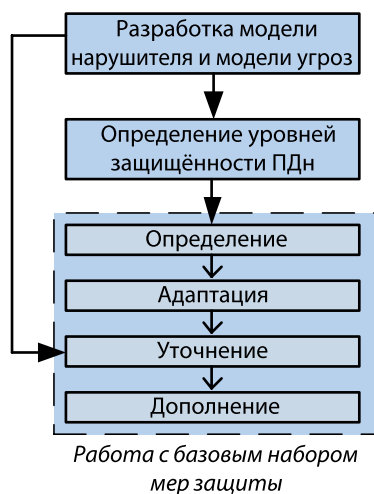


Рис. 1. Принятый порядок определения состава мер защиты

(такими как степень распределённости, наличие подключения к Интернет и т. п.). Опасность угрозы может принимать следующие значения:

низкая — реализация угрозы может привести к незначительным негативным последствиям для субъектов персональных данных;

средняя — реализация угрозы может привести к негативным последствиям для субъектов персональных данных;

высокая — реализация угрозы может привести к значительным негативным последствиям для субъектов персональных данных.

Схематично порядок определения опасности угрозы представлен на рис. 2.

Принятый порядок подготовки состава организационных и технических мер защиты в целом и порядок определения опасности угрозы в частности не учитывают отдельное рассмотрение характеристик безопасности защищаемых ПДн (конфиденциальность, доступность, целостность и т. п.).

Отдельное рассмотрение характеристик безопасности:

1) позволит разработать более экономически эффективную систему защиты информации, сократив затраты на применение избыточных мер за счёт:

проведения более глубокого анализа потенциальных угроз;

подготовки более чётких требований к компенсирующим мерам защиты на этапах адаптации и уточнения базового набора мер;

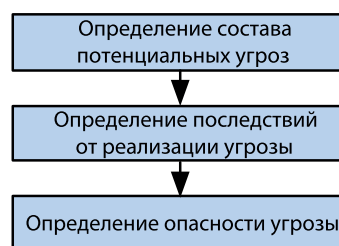


Рис. 2. Порядок определения опасности угрозы

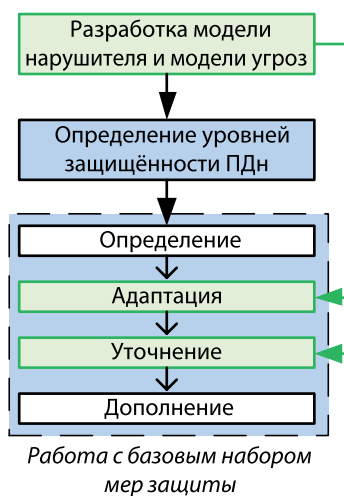


Рис. 3. Предлагаемый порядок определения мер защиты

подготовки более чётких требований к уточнению базового набора мер защиты с учетом невыбранных на предыдущих этапах мер, использование которых обеспечит перекрытие всех актуальных угроз.

2) создаст предпосылки для разработки метода определения эффективности средств защиты информации.

Схематично предлагаемый порядок определения мер защиты ПДн при их обработке в ИСПДн представлен на рис. 3.

В настоящей статье предлагается метод определения опасности угроз ПДн при их обработке в ИСПДн с учётом состава деструктивных воздействий угроз и с учётом их влияния на отдельные характеристики безопасности ПДн — конфиденциальность, целостность и доступность.

Для определения опасности угрозы ПДн при их обработке в ИСПДн в качестве исходных данных необходимо обладать сведениями о составе потенциальных угроз. При подготов-

ке перечня потенциальных угроз предлагается использовать методические документы, подготовленные ФСТЭК России [3] и ФСБ России [9], банк угроз безопасности информации [10], а также предложенную в [11] классификацию компьютерных атак.

В состав объектов защиты должны быть включены ПДн, а также объекты, обеспечивающие работоспособность основных программных и технических средств ИСПДн.

Общий порядок определения опасности угроз ПДн включает в себя следующие этапы:

определение состава деструктивных воздействий потенциальных угроз ПДн;

определение степени важности объектов защиты;

определение опасности нарушения конфиденциальности, целостности и доступности;

определение опасности осуществления конкретных деструктивных воздействий;

определение уровня потенциального ущерба от реализации угрозы;

определение опасности угрозы.

Схематично предлагаемый порядок определения опасности угроз ПДн при их обработке в ИСПДн представлен на рис. 4.

Подобный подход ранее предлагался при моделировании угроз безопасности критически важных автоматизированных систем военного назначения [12] и критически важной информации военного назначения [13].

1) *Определение состава деструктивных воздействий*

Реализация любой угрозы приводит к осуществлению определённых деструктивных воздействий. Для каждой потенциальной угрозы необходимо подготовить список деструктивных воздействий, к которым может привести её реализация.

В состав основных деструктивных воздействий, способных повлиять на безопасность объектов защиты, входят: хищение, ознакомление, копирование, блокирование, модификация и удаление (уничтожение).

2) *Определение важности объекта защиты*

Под важностью объекта защиты понимается качественная характеристика, определяющая ценность объекта защиты для обеспечения состояния характеристики безопасности объекта защиты в пределах допустимых значений. Важность объекта защиты выражена степенью важности, имеющей четыре градации: самая высокая — первая, самая низкая — четвёртая.

Для оценки степени важности объекта защиты необходимо рассмотреть каждый объект защиты с позиции необходимости обеспечения состояний конфиденциальности, целостности и доступности. Таким образом, каждому объекту защиты соответствуют три характеристики важности.

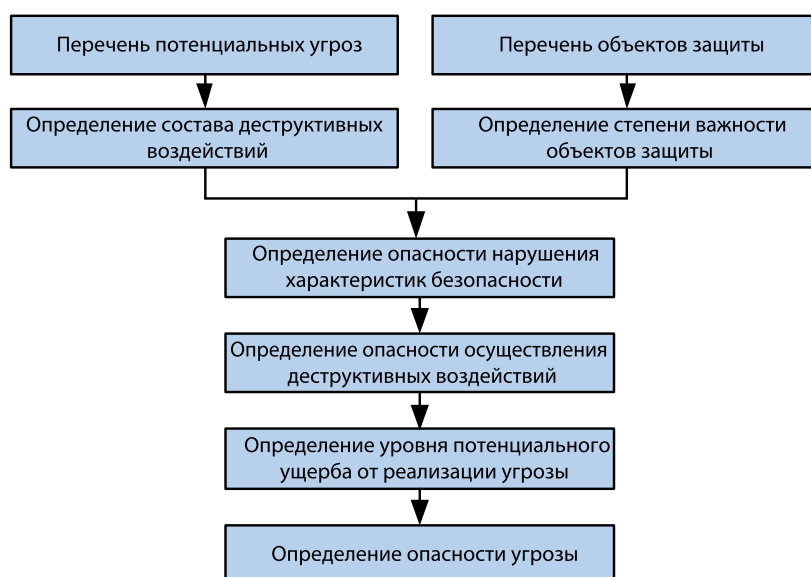


Рис. 4. Предлагаемый порядок определения опасности угроз ПДн при их обработке в ИСПДн

В табл. 1 представлена градация степеней важности объекта защиты в зависимости от возможных последствий для субъекта ПДн, к которым может привести нарушение характеристик безопасности объекта защиты.

При определении степени важности объекта ПДн необходимо применять следующие правила:

градация важности объекта ПДн с позиции обеспечения его целостности и доступности определяется в том числе с учетом уровня ущерба, к которому может привести нарушение этих характеристик, а также приемлемости затрат (временных, финансовых и т. п.) на восстановление характеристик объекта ПДн;

градация важности объекта ПДн с позиции обеспечения его конфиденциальности определяется с учетом уровня морального и (или) материального ущерба для субъекта ПДн, к которому может привести нарушение конфиденциальности его ПДн.

Для определения важности ПДн необходимо присвоить каждому объекту ПДн определённую в табл. 1 степень важности.

При определении степени важности объектов, обеспечивающих работоспособность основных программных и технических средств ИСПДн необходимо выполнить следующие действия:

определить состав служебных файлов;
определить допустимость их блокирования и временной утраты;

определить возможность их восстановления;

определить последствия, к которым может привести нарушение доступности и целостности служебных файлов;

присвоить каждому служебному файлу определённую в табл. 1 степень важности.

3) *Определение опасности нарушения конкретных характеристик безопасности*

Каждое d -е деструктивное воздействие на o -й объект описывается в виде тройки коэффи-

циентов $K_{do\alpha}$, $K_{do\beta}$, $K_{do\gamma}$, где α , β , γ — индексы, отражающие составляющие опасности, связанные с нарушениями конфиденциальности, целостности и доступности. Значения коэффициентов деструктивных воздействий зависят от важности объектов, на которые они направлены деструктивные воздействия. Коэффициенты деструктивных воздействий выражают опасность нарушения конкретных характеристик безопасности.

Для использования коэффициентов деструктивных воздействий в дальнейшей работе необходимо присвоить им числовые значения. В качестве математического аппарата для присвоения числовых значений применялась теория нечётких множеств. Основной трудностью, мешающей её применению при решении практических задач является то, что функция принадлежности должна быть задана вне самой теории и, следовательно, её адекватность не может быть проверена непосредственно средствами теории. В каждом известном методе построения функции принадлежности формулируются свои требования и обоснования к выбору именно такого построения [14].

При построении характеристических функций принадлежности множествам опасности использовался прямой метод экспертных оценок, в рамках которого предполагалось:

x — значение опасности нарушения характеристики безопасности объекта защиты;

U — множество значений опасности нарушения характеристики безопасности объекта защиты, $U = \{x, x \in R : 0 \leq x \leq 3\}$;

A — множество значений высокой опасности нарушения характеристики безопасности объекта защиты;

B — множество значений средней опасности нарушения характеристики безопасности объекта защиты;

C — множество значений низкой опасности нарушения характеристики безопасности объекта защиты;

Таблица 1

Последствия, к которым может привести нарушение безопасности ПДн	Вывод о степени важности объекта
Высокий материальный или моральный ущерб для субъекта ПДн	1 степень
Значительный материальный или моральный ущерб для субъекта ПДн	2 степень
Умеренный материальный или моральный ущерб для субъекта ПДн	3 степень
Незначительный материальный или моральный ущерб для субъекта ПДн	4 степень

Таблица 2

Функции принадлежности множествам опасности	Примерные значения опасности нарушения характеристик безопасности			
	Нулевая опасность	Низкая опасность	Средняя опасность	Высокая опасность
$\mu_A(x)$	0,20	0,40	0,70	0,90
$\mu_B(x)$	0,40	0,70	0,90	0,70
$\mu_C(x)$	0,70	0,90	0,70	0,40
$\mu_D(x)$	0,90	0,70	0,40	0,20

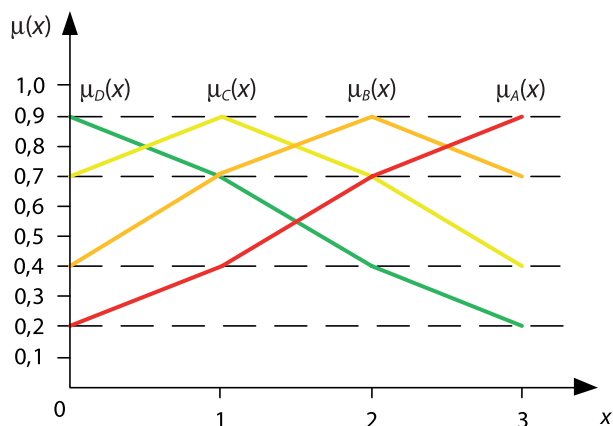


Рис. 5. Диаграмма примерных значений опасности нарушения характеристик безопасности

D — множество значений безопасности (нулевой опасности) нарушения характеристики безопасности объекта защиты;

$\mu_A(x)$ — характеристическая функция принадлежности множеству опасности A , $\mu_A(x) = [1; 0]$;

$\mu_B(x)$ — характеристическая функция принадлежности множеству опасности B , $\mu_B(x) = [1; 0]$;

$\mu_C(x)$ — характеристическая функция принадлежности множеству опасности C , $\mu_C(x) = [1; 0]$;

$\mu_D(x)$ — характеристическая функция принадлежности множеству опасности D , $\mu_D(x) = [1; 0]$.

Характеристические функции принадлежности множествам опасности выражают примерные значения опасности нарушения характеристики безопасности, обусловленной степенью важности объекта защиты.

Примерные значения опасности нарушения характеристик безопасности представлены в табл. 2 и для наглядности на диаграмме Заде (рис. 5). При определении примерных значений предполагалось:

чем выше значение x , тем выше значение опасности;

недопустимо делать вывод о 100 %-й принадлежности характеристической функции определённому множеству (нечёткие множества значений опасности должны быть субнормальными — ни одна характеристическая функция принадлежности не должна принимать значение, равное единице);

для однозначного определения значений коэффициентов деструктивных воздействий все характеристические функции принадлежности должны иметь один максимум — быть унимодальными.

Несущие множества опасности можно записать следующим образом:

$$\begin{aligned}
 A &= 0,2/0 + 0,4/1 + 0,7/2 + 0,9/3 \\
 B &= 0,4/0 + 0,7/1 + 0,7/3 + 0,9/2 \\
 C &= 0,4/3 + 0,7/0 + 0,7/2 + 0,9/1 \\
 D &= 0,2/3 + 0,4/2 + 0,7/1 + 0,9/0
 \end{aligned}$$

где запись вида $0,2/0$ выражает не деление на ноль, а значение функции принадлежности (в данном примере $0,2$) при значении опасности, равном нулю.

Общая форма записи нечётких подмножеств будет иметь следующий вид:

$$\begin{aligned}
 A &= \sum_{x=0}^3 \mu_A(x) / x = \sum_{x=0}^0 0,2 / x + \\
 &+ \sum_{x=1}^1 0,4 / x + \sum_{x=2}^2 0,7 / x + \sum_{x=3}^3 0,9 / x \\
 B &= \sum_{x=0}^3 \mu_B(x) / x = \sum_{x=0}^0 0,4 / x + \\
 &+ \sum_{x=1}^1 0,7 / x + \sum_{x=2}^2 0,9 / x + \sum_{x=3}^3 0,7 / x \\
 C &= \sum_{x=0}^3 \mu_C(x) / x = \sum_{x=0}^0 0,7 / x + \\
 &+ \sum_{x=1}^1 0,9 / x + \sum_{x=2}^2 0,7 / x + \sum_{x=3}^3 0,4 / x \\
 D &= \sum_{x=0}^3 \mu_D(x) / x = \sum_{x=0}^0 0,9 / x + \\
 &+ \sum_{x=1}^1 0,7 / x + \sum_{x=2}^2 0,4 / x + \sum_{x=3}^3 0,2 / x, \quad (1)
 \end{aligned}$$

где запись вида $\sum_{x=0}^3 \mu_A(x) / x$ не предполагает сумму, но предполагает объединение по всем элементам конечного несущего множества значений x .

Примерными значениями точек перехода для функций принадлежности являются: 1,5 для $\mu_A(x)$; 0,2 для $\mu_B(x)$; 2,6 для $\mu_C(x)$; 1,5 для $\mu_D(x)$.

Для уточнения примерных числовых значений функций принадлежности множествам опасности были сделаны следующие допущения:

на конфиденциальность не могут повлиять блокирование, модификация и удаление (уничтожение) объекта защиты;

на целостность не могут повлиять ознакомление, копирование или блокирование объекта защиты;

на доступность не могут повлиять ознакомление или копирование объекта защиты;

опасность нарушения конфиденциальности в случае хищения или копирования объекта защиты выше опасности нарушения конфиденциальности в случае ознакомления;

опасность нарушения целостности в случае модификации и удаления (уничтожения) объекта защиты выше опасности нарушения целостности в случае хищения объекта защиты;

опасность нарушения доступности в случае модификации и удаления (уничтожения) объекта защиты выше опасности нарушения доступности в случае хищения или блокирования объекта защиты.

При уточнении значений функций принадлежности множествам опасности был осуществлён сдвиг по оси x на $-0,1$ (для $K_{до\alpha}$ в случае ознакомления, для $K_{до\beta}$ в случае хищения и для $K_{до\gamma}$ в случае хищения и блокирования). Таким образом, с учётом формы записи (1), уточнённые числовые значения опасности нарушения характеристик безопасности, выраженные максимальными значениями соответствующих функций принадлежности, приняли значения, представленные в табл. 3. Красным цветом в таблице выделены значения повышенной опасности.

4) Определение опасности осуществления конкретных деструктивных воздействий

Общая опасность d -го деструктивного воздействия выражена коэффициентом K_{do} . Коэффициент общего деструктивного воздействия K_{do} в соответствии с формулой, предложенной органом государственной власти, уполномоченным по вопросам технической защиты информации, определяется следующим соотношением:

$$K_{do} = \theta_{d\alpha} K_{до\alpha} + \theta_{d\beta} K_{до\beta} + \theta_{d\gamma} K_{до\gamma},$$

где $\theta_{d\alpha}$, $\theta_{d\beta}$, $\theta_{d\gamma}$ — функции, значения которых равны единице, если в результате реализации d -го деструктивного воздействия нарушается конфиденциальность, целостность или доступность объекта соответственно; $K_{до\alpha}$, $K_{до\beta}$, $K_{до\gamma}$ — коэффициенты деструктивного воздействия по отношению к конкретным характеристикам безопасности.

5) Определение уровня потенциального ущерба от реализации угрозы

Ущерб от реализации угрозы t по отношению к объекту o выражен коэффициентом ущерба D_{to} , определяемым совокупной коэффициентом K_{do} деструктивных воздействий (d_1, d_2, d_3, d_4, d_5), к которым может привести реализация угрозы. Значение коэффициента ущерба D_{to} от реализации угрозы определяется следующим соотношением (в соответствии с формулой, предложенной органом государственной власти, уполномоченным по вопросам технической защиты информации):

$$D_{to} = K_{d_1o} + K_{d_2o} + K_{d_3o} + K_{d_4o} + K_{d_5o}.$$

Таблица 3

Деструктивные воздействия	Степень важности объекта защиты	Числовые значения характеристик безопасности		
		Конфиденциальность ($K_{доп}$)	Целостность ($K_{доб}$)	Доступность ($K_{доп}$)
Хищение	Первая	0,9	0,8	0,8
	Вторая	0,7	0,6	0,6
	Третья	0,4	0,3	0,3
	Четвёртая	0,2	0,1	0,1
Ознакомление	Первая	0,8	–	–
	Вторая	0,6	–	–
	Третья	0,3	–	–
	Четвёртая	0,1	–	–
Копирование	Первая	0,9	–	–
	Вторая	0,7	–	–
	Третья	0,4	–	–
	Четвёртая	0,2	–	–
Блокирование	Первая	–	–	0,8
	Вторая	–	–	0,6
	Третья	–	–	0,3
	Четвёртая	–	–	0,1
Модификация и удаление (уничтожение)	Первая	–	0,9	0,9
	Вторая	–	0,7	0,7
	Третья	–	0,4	0,4
	Четвёртая	–	0,2	0,2

Таблица 4

Интервал показателя опасности угрозы	Вербальная интерпретация показателя
0,65–1,00	Высокая
0,31–0,64	Средняя
0,00–0,30	Низкая

б) Определение опасности угрозы

Опасность угрозы t выражается отношением ущерба $D_{ю}$, к которому может привести её реализация, к приемлемому ущербу D_a и определяется следующим соотношением:

$$K_{ю} = \frac{D_{ю}}{D_a}.$$

Уровень приемлемого ущерба является уникальным для каждого отдельного объекта защиты, задаётся экспертным путём и не может принимать значение, равное нулю. В случае, когда ущерб от реализации деструктивного воздействия $D_{ю}$ превышает допустимый ущерб D_a , он принимает значение равное D_a . Вербальная интерпретация опасности угрозы представлена в табл. 4.

Вывод

Предложенный метод определения опасности угрозы позволяет повысить безопасность ПДн личного состава различных объектов Вооружённых Сил Российской Федерации, в том числе Военно-морского флота, за счёт проведения более глубокого анализа потенциальных угроз, результаты которого учитывают:

- 1) состав деструктивных воздействий на объекты защиты, к которым может привести реализация угрозы;
- 2) необходимость защиты объектов, не являющихся ПДн — технических и программных средств обработки ПДн;
- 3) опасность нарушения отдельных характеристик безопасности объектов защиты.

ЛИТЕРАТУРА

1. Федеральный закон от 27.07.2006 № 152-ФЗ «О персональных данных».
2. Постановление Правительства РФ № 1119 от 01.11.2012. Требования к защите персональных данных при их обработке в информационных системах персональных данных.
3. ФСТЭК России. Базовая модель угроз безопасности персональных данных при их обработке в информационных системах персональных данных. 2008. URL: <http://fstec.ru/component/attachments/download/289>.
4. ФСТЭК России. Методика определения актуальных угроз безопасности персональным данным. 2008. URL: <http://fstec.ru/component/attachments/download/290>.
5. ФСТЭК России. Состав и содержание организационных и технических мер по обеспечению безопасности персональных данных при их обработке в информационных системах персональных данных. 2013. URL: <http://fstec.ru/component/attachments/download/561>.
6. ФСТЭК России. Меры защиты информации в государственных информационных системах. 2014. URL: <http://fstec.ru/component/attachments/download/675> (дата обращения: 20.12.2017).
7. ФСБ России. Методические рекомендации по обеспечению с помощью криптосредств безопасности персональных данных при их обработке в информационных системах персональных данных с использованием средств автоматизации. 2008. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_126992/ (дата обращения: 20.12.2017).
8. ФСБ России. Типовые требования по организации и обеспечению функционирования шифровальных (криптографических) средств, предназначенных для защиты информации, не содержащей сведений, составляющих государственную тайну, в случае их использования для обеспечения безопасности персональных данных при их обработке в информационных системах персональных данных. 2008. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_126991/ (дата обращения: 20.12.2017).
9. ФСБ России. Методические рекомендации по разработке нормативных правовых актов, определяющих угрозы безопасности персональных данных, актуальные при обработке персональных данных в информационных системах персональных данных, эксплуатируемых при осуществлении соответствующих видов деятельности. 2015. URL: http://www.fsb.ru/files/PDF/Metodicheskie_recomendacii.pdf (дата обращения: 20.12.2017).
10. ФСТЭК России, ФАУ «ГНИИИ ПТЗИ ФСТЭК России». Банк данных угроз безопасности информации. URL: <http://bdu.fstec.ru> (дата обращения: 20.12.2017).
11. Кулешов И. А., Кошмяк М. А., Лаута О. С. Безопасность современных информационно-телекоммуникационных сетей // Техника средств связи. 2018. № 2. С. 28-35.
12. Козин И. С., Рошин А. А. Метод построения модели угроз безопасности критических автоматизированных систем военного назначения // Новые информационные технологии в системах связи и управления: сб. докладов XV Российской науч.-технической конф. (Калуга, 1 июня 2016). — Калуга: Калужский научно-исследовательский институт телемеханических устройств. Изд-во «Ноосфера». — 2016. — С. 255–257.
13. Козин И. С., Рошин А. А. Метод построения модели угроз критически важной информации военного назначения // Научно-технический сборник «Техника средств связи». — СПб.: Изд-во Политех. ун-та. — 2016. — С. 98–103.
14. Нечёткие множества и теория возможностей. Последние достижения // под ред. Р. Ягера. — М.: Радио и связь. — 1986. — 408 с.

В.Ф. Лапицкий

Кандидат технических наук, доцент, ПАО «Интелтех»

И.В. Машкин

Кандидат военных наук, доцент, ПАО «Интелтех»

К.В. Фролов

ПАО «Интелтех»

О.В. Харченко

Кандидат технических наук, доцент, ПАО «Интелтех»

СОВРЕМЕННЫЙ ПОДХОД К МОДЕЛИРОВАНИЮ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ОБСТАНОВКИ НА МОРСКИХ ПОДВИЖНЫХ ОБЪЕКТАХ

АННОТАЦИЯ. В статье рассмотрен подход к моделированию электромагнитной обстановки на морских подвижных объектах, основанный на численном решении электродинамической задачи. Рассмотрены преимущества данного подхода, а также структура аппаратно-программного комплекса, реализующего его.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: электромагнитная совместимость, электромагнитная обстановка, метод конечных элементов, метод моментов, Ansys HFSS.

Введение

Современная тенденция развития Военно-морского флота России состоит в увеличении количества радиоэлектронных средств (РЭС) на морских подвижных объектах, а также в применении новейших подходов размещения антенных устройств на верхнепалубном пространстве. Использование большого числа радиоэлектронных средств объясняется широким диапазоном задач, решаемых надводными кораблями и подводными лодками, что приводит к проблемам обеспечения электромагнитной совместимости (ЭМС). Применение новейших подходов вызвано в основном требованиями защиты от средств разведки противника, а также необходимость повышения эффективности системы управления ВМФ.

Возникающие проблемы электромагнитной совместимости могут привести к срыву боевой задачи. Ярким примером служит ситуация, слу-

чившаяся в 1982 году во время вооруженного конфликта Аргентины с Великобританией. Английский флот потерял эскадренный миноносец «Шеффилд». Во время атаки аргентинской авиации на «Шеффилде» вели переговоры с Лондоном через спутниковый канал связи. Однако на станцию спутниковой связи действовала непреднамеренная помеха от своего оборудования. Командир корабля приказал выключить все бортовые радиоэлектронные средства, в том числе радиолокационную станцию. В связи с этим экипажу не удалось обнаружить угрозу авиационной атаки и миноносец, получив серьезные повреждения, впоследствии затонул.

Также при разработке методик расчета электромагнитной обстановки с целью обеспечения электромагнитной совместимости было выяснено, что нормативная документация, используемая при размещении антенных средств, является устаревшей и фактически содержит общие рекомендации по решению тех или иных

вопросов. В реальности возникают ситуации, при которых размещение антенно-фидерных устройств в соответствии с нормативными документами не оптимально. Объясняется это тем, что на момент составления руководящих документов отсутствовала возможность применения высокопроизводительных численных методов моделирования электромагнитной обстановки. В защиту существующей документации можно сказать, что целью выработанных требований была унификация решений вопросов размещения антенно-фидерных устройств по типам, диапазонам частот, излучаемой мощности, безопасности экипажа и т. д., чтобы избежать расчетов слишком сложных для своего времени.

В связи с этим была поставлена задача по созданию аппаратно-программного комплекса моделирования электромагнитной обстановки. Данный комплекс позволяет производить различные типы высокопроизводительных электродинамических расчетов, преимущества которых будут показаны далее.

Численный расчет

В настоящее время разработано и описано большое количество методов численного решения электродинамических задач [1, 2, 3], каждый из которых подходит для решения тех или иных узких вопросов [4, 5, 6]. Исследования методов не является частью представленной работы, но в данном случае необходимо указать какие методы подходят для моделирования электромагнитной обстановки на морских подвижных объектах.

Выбор математического аппарата обусловлен электрическими размерами l/λ решаемой задачи [7]. При анализе электромагнитной обстановки на надводных кораблях и подводных лодках диапазон рабочих частот простирается от единиц кГц до порядка 20 ГГц для систем спутниковой связи. Электрическая длина самого большого корабля ВМФ РФ, тяжелого авианесущего крейсера «Адмирал флота Советского Союза Кузнецов» [8], в рабочем диапазоне частот варьируется от 10^{-3} до $2 \cdot 10^4$. Указанная величина изменяется на 7 порядков, и возникает необходимость применения широкого спектра численных методов: для низкочастотного диапазона — метод конечных элементов, затем для крупных электрических задач — метод моментов и гибридные методы, в СВЧ — методы физической и геометрической оптики.

Стратегия

На этапе технического проектирования комплекса выявились два пути решения поставленной проблемы:

создавать комплекс «с нуля», что предполагало разработку и отладку описанных численных методов, интерфейса пользователя и средств визуализации своими силами;

использовать современную САПР в качестве вычислительного ядра, разработав только пользовательский интерфейс и средства визуализации результатов.

Ввиду большой сложности и требовательности ко времени и ресурсам для самостоятельной реализации численных методов был выбран второй вариант. Это позволило сократить время на создание комплекса до 3-х лет, а также уделить больше внимания функционалу, чем отладке математики.

В качестве аппаратной части был собран вычислительный кластер из двух серверов с использованием графических процессоров. С кластером предусмотрена возможность работы двух операторов, использование распределенных вычислений с установкой очереди расчетов и т. д.

Преимущества проведения расчета

После краткого обзора применяемого математического аппарата и общей стратегии решения следует рассмотреть преимущества проведения расчета электромагнитной обстановки на морских подвижных объектах.

1. Повышение эффективности радиосвязи

Данное преимущество в первую очередь связано с учетом размещения антенны на корпусе объекта. Как известно [9], максимальное влияние на характеристики антенны оказывают конструкции расположенные в ближней зоне. При малых электрических длинах, т. е. в средневолновом и нижней части коротковолнового диапазонов, в формировании излучения антенны участвует не только конструкция, а также всё окружение (элементы надстройки, мачты, корпус и др.). Ввиду выше сказанного появляется необходимость тщательно подбирать место установки антенн, чтобы выдержать необходимую диаграмму направленности в рабочем диапазоне частот. Этот вопрос актуален при размещении антенн для дальней связи,

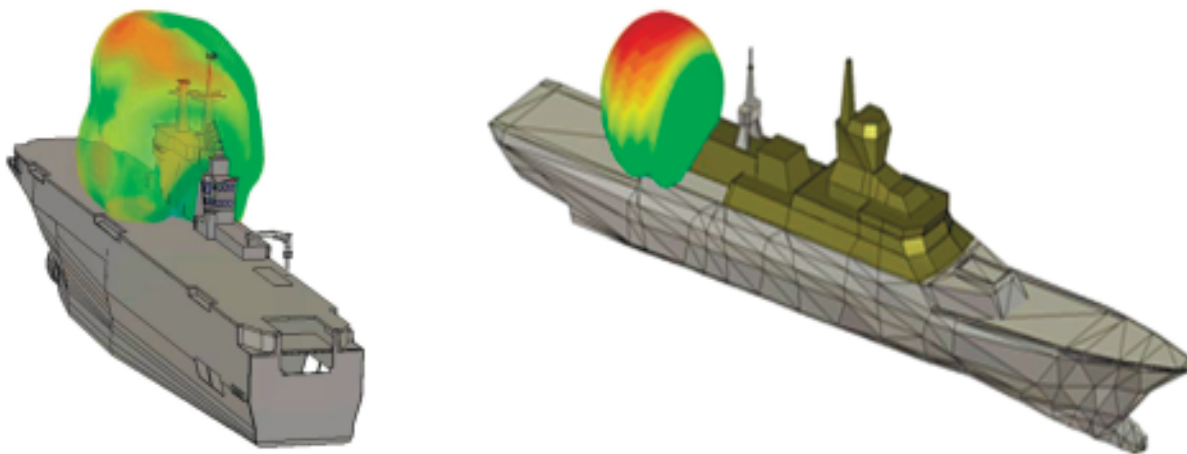


Рис. 1. Пример размещения антенны зенитного излучения на двкд и корабле пр.20380

для которых необходимо выдержать хорошую азимутальную направленность, а также антенн авиационной и ближней связи, основное требование к которым – направленность в зенит. На рис. 1 представлены результаты подобного расчета для десантно-вертолетного корабля-дока «Владивосток» и корабля проекта 20380.

2. Прогнозирование электро-магнитной совместимости РЭС и личного состава корабля

При проведении численного моделирования электромагнитной обстановки существует возможность расчета распределения напряженности поля или вектора Умова-Пойтинга,

что может использоваться при составлении рекомендаций по нахождению личного состава на верхней палубе при работе тех или иных радиоэлектронных средств. Примером такого расчета может служить работа, выполненная при верификации расчетных значений поля, полученных при работе комплекса моделирования электромагнитной обстановки, с измеренными на приемосдаточных испытаниях корабля проекта 22350 (рис. 2).

В дальнейшем при проведении натурных измерений на основе спрогнозированной электромагнитной обстановки все потенциально опасные места могут быть выявлены.

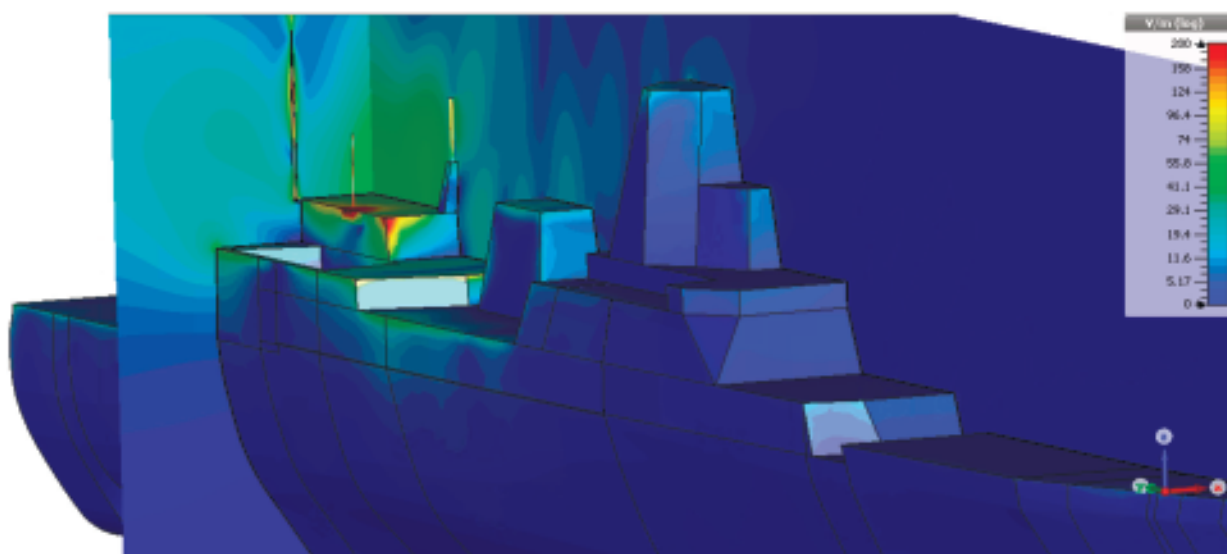


Рис. 2. Расчет напряженности электрического поля на корабле пр. 22350 для верификации расчетных значений

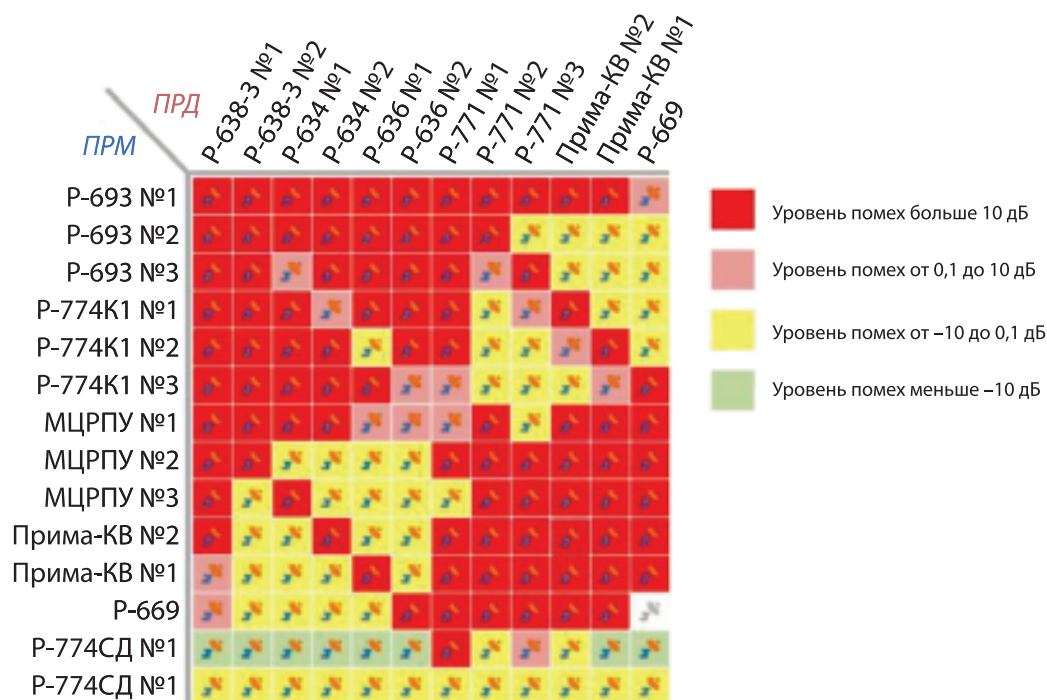


Рис. 3. Внешний вид матрицы помех

С точки зрения прогнозирования электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств проведение расчета позволяет получить коэффициенты передачи между антеннами, которые в дальнейшем используются для предсказания взаимных помех и построения матрицы помех при парной или комплексной оценке. Данный подход позволяет выявить конфликты между различными устройствами на стадии проектирования, по возможности их устранить или выработать рекомендации для их предотвращения.

3. Обеспечение безопасности хранения и эксплуатации боезапаса

Подобным образом с помощью карты электромагнитной обстановки можно оценить безопасность хранения и эксплуатации боезапаса в соответствии с [10]. Установка пробников поля позволяет получить частотную зависимость напряженности электрического или магнитного поля и плотность потока мощности и сравнить эти значения с предельно допустимыми.

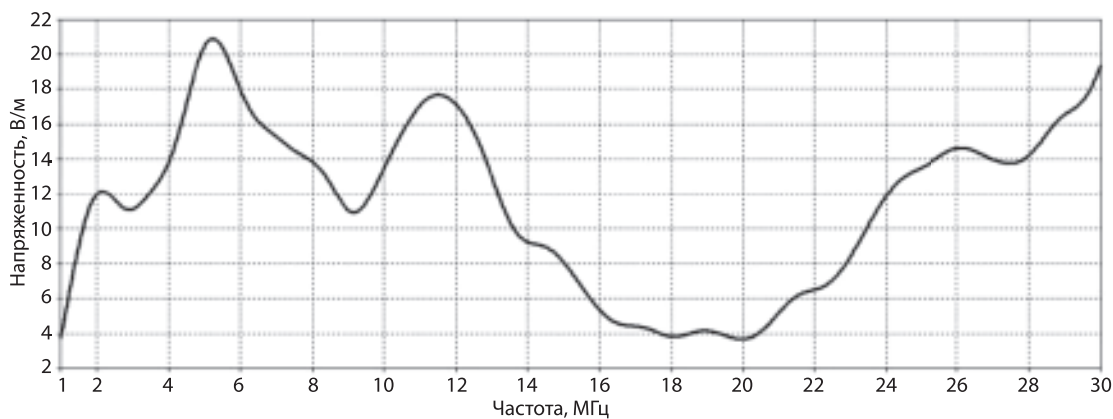


Рис. 4. Возможный вид графика зависимости напряженности электрического поля от частоты в месте хранения боезапаса

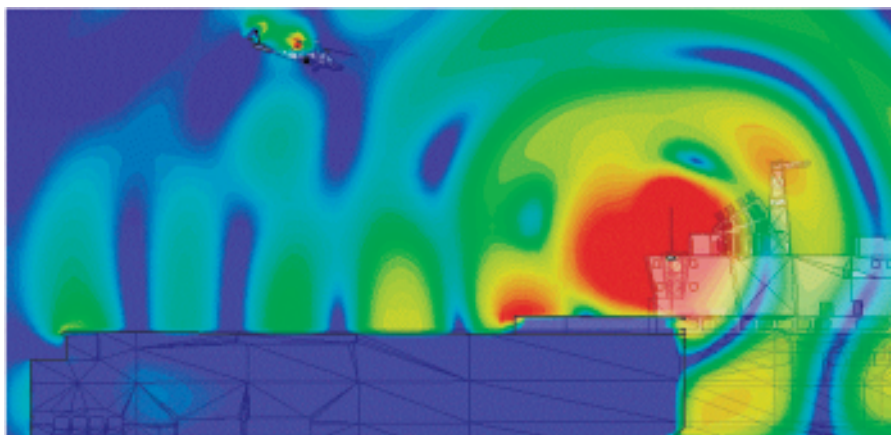


Рис. 5. Пример расчета ЭМО при взлете вертолета

4. Учет перемещения технических и авиационных средств

Для комплексного обеспечения электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств учитывается перемещение авиационных и технических средств на верхнепалубном пространстве корабля. Таким образом становится возможным проработать различные сценарии, такие как взлет/посадка с палубы, перевозка боезапаса и техники по палубе, работа подъемников и кранов. Все эти действия оказывают влияние на электромагнитную обстановку (ЭМО), что обуславливает необходимость отслеживания изменений, вызванных ими.

5. Повышение радиоэлектронной защиты объектов

В современном мире все больше появляется необходимость создания конструкций, мало заметных для средств радиоэлектронной разведки противника. Численный расчет позволяет оценить значение эффективной поверхности рассеяния объекта на этапе проектирования, при необходимости внести коррективы, избежать ошибок, устранение которых может быть дорогостоящим в финансовом выражении на этапе сдачи корабля.

6. Использование надстройки корабля как антенны

Получивший недавно распространение математический аппарат расчета характерных мод [11] можно эффективно применять для выявления режимов излучения характерных для той или иной конструкции. В данном случае есть возможность использовать этот аппарат для нахождения режимов и частот излучения – мод, которые соответствуют тому или иному проекту корабля. Возбуждать эти режимы возможно малогабаритными антеннами, что снизит эффективную поверхность рассеяния и приведет к повышению радиоэлектронной защиты.

Вывод

В результате работы был создан аппаратно-программный комплекс, осуществляющий моделирование электромагнитной обстановки на морских подвижных объектах, а также прогнозирование выполнения условий электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств. Используемый математический аппарат и высокая производительность позволяют применить современный подход к моделированию и получить ряд преимуществ при проектировании надводных кораблей и подводных лодок, ранее недоступных ввиду вычислительной сложности.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Гринев А.Ю.** Численные методы решения прикладных задач электродинамики. Учебн. пособие. – М.: Радиотехника, 2012. – 336 с.

2. **Банков С.Е., Курушин А.А.** Электродинамика и техника СВЧ для пользователей САПР. – М.: Солон-Пресс, 2008. – 276 с.

3. Fast TCS prediction using multiresolution shooting and bouncing ray method on the GPU / P.C. Gao, Y.B. Tao, H. Lin // Progress in Electromagnetics Research. — 2010. — Vol. 107. — P. 187–202

4. **Гончаров В. А.** Методы моделирования электромагнитных полей в вычислительных средах // Научный электронный архив. URL: <http://econf.rae.ru/article/5166> (дата обращения: 21.03.2017).

5. Материалы вебинара CST // Computer Simulation Technologies. URL: <https://www.cst.com/Content/Events/UGM2009/6-1-3-Electrically-Large-Applications-and-Integral-Equation-solver.pdf> (дата обращения: 21.03.2017).

6. Сравнение результатов 3D-моделирования фильтра верхних частот в программах HFSS и CST MICROWAVE STUDIO / Дерачиц Д. С., Кисель Н. Н., Грищенко С. Г. // в сборнике: Излучение и рассеяние электромагнитных волн ИРЭМВ-2015. Труды Международной научной конференции. — 2015. — С. 85–89.

7. Презентация продукции Altair 2014 // AltairHyperWorks. URL: <https://www.slideshare.net/AltairHTC/altair-product-update-2014> (дата обращения: 21.03.2017).

8. Справочные данные по ТАВКР «Адмирал Флота Советского Союза Кузнецов» // Wikipedia https://ru.wikipedia.org/wiki/Адмирал_Флота_Советского_Союза_Кузнецов (дата обращения: 21.03.2017).

9. **Сазонов Д. М., Марков Г. Т.** Антенны. Учебник для студентов радиотехнических специальностей вузов. Изд. 2-е, перераб. и доп. — М.: Энергия, 1975. — 528 с.

10. ГОСТ РВ 20.39.309-98 Комплексная система общих технических требований. Аппаратура, приборы, устройства и оборудование военного назначения. Требования к программам обеспечения надежности и стойкости к воздействию ионизирующих и электромагнитных излучений. — М.: Изд-во стандартов, 1998.

11. Yikai Chen, Chao-Fu Wang, Characteristic Modes: Theory and Applications in Antenna Engineering. Singapore: National University of Singapore. — 2015. — 304 p.

А. С. Ломакова

ПАО «Интелтех»

С. В. Русин

Кандидат технических наук, ПАО «Интелтех»

Ю. В. Савенкова

ПАО «Интелтех»

А. К. Скворцов

ПАО «Интелтех»

АКТУАЛЬНАЯ ПРОБЛЕМА АВИАНЕСУЩЕГО ФЛОТА — МИНИАТЮРИЗАЦИЯ КОРАБЕЛЬНОЙ ПЕРЕДАЮЩЕЙ ДВ-СВ АНТЕННЫ ПРИВОДНОЙ РАДИОСТАНЦИИ И РЕЗУЛЬТАТЫ ЕЁ РЕШЕНИЯ

АННОТАЦИЯ. В статье изложена актуальная проблема авианесущего флота — проблема миниатюризации корабельной передающей ДВ-СВ антенны приводной радиостанции и представлены результаты её решения. Разработанные результаты позволяют улучшить боевые качества малых авианесущих кораблей. Решение проблемы основано на замене класса излучения А2А на класс А1А. Представлены результаты энергетического расчета радиолинии с малогабаритными антеннами электрического и магнитного типов в наилучших условиях функционирования приводной радиостанции.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: класс излучения, габариты, добротность, приводная радиостанция, радионавигационный комплекс.

Ранее авторами была опубликована статья [1], в которой показано, что миниатюрная передающая антенна не может обеспечить требуемую эффективность системы радиопривода. Причиной является широкая полоса опознавательного сигнала в классе излучения А2А. В развитие данной темы предложено решение задачи миниатюризации корабельной передающей антенны приводной радиостанции ДВ-СВ диапазона на основе замены класса излучения А2А на А1А в котором полоса частот опознавательного сигнала значительно меньше.

Малые авианесущие корабли ВМФ России отличаются от зарубежных наличием двух мачт. Примером могут служить и шведские корветы проекта Visby и российские корветы проекта 20380 соответственно рис. 1 а) и б). Две мачты российского корвета поддерживают крупно-

габаритную Т-образную антенну приводной радиостанции (на рис. 1 антенна обозначена штриховой линией).

Шведский корабль оснащён малогабаритной антенной, которая встроена в корпус единственной мачты. Отличие габаритов антенн связано в первую очередь с тем, что для системы радиопривода в России используется диапазон ДВ-СВ (1580...170 м), а за рубежом — диапазон ДЦВ (0,313...0,247 м).

Приводная радиостанция диапазона ДВ-СВ имеет несколько важных преимуществ. Во-первых, обеспечивает привод самолёта или вертолёт на корабль, даже если тот находится за горизонтом, при этом не требуется большая мощность излучения. Во-вторых, радиосигнал не подвержен замираниям.



Рис. 1. Корветы-невидимки построенные по технологии Стелс

Приводная станция диапазона ДЦВ, напротив, обеспечивает привод летательного аппарата, только если тот находится над горизонтом, при этом требуется бóльшая мощность излучения, а радиосигнал подвержен замираниям.

Ещё одним преимуществом приводной радиостанции ДВ-СВ диапазона является её безопасность для здоровья личного состава экипажа из-за меньшей эффективной мощности излучения и меньшего влияния на организм человека низких частот.

Обладая такими важными преимуществами, приводная радиостанция ДВ-СВ диапазона имеет существенный недостаток — её крупногабаритная Т-образная антенна накладывает негативный отпечаток на облик корабля. Наличие двух мачт, поддерживающих антенну, влечет не только радиолокационную заметность корабля, но и худшие ходовые качества по причине использования более прочного, а значит более тяжелого корпуса. Проблема уменьшения габаритов антенны приводной радиостанции является актуальной. Её решение значительно улучшит боевые качества авианесущих кораблей.

Попытки разработать малогабаритную антенну приводной радиостанции предпринимались в разное время на нескольких предприятиях промышленности, но требуемая эффективность антенн не могла быть достигнута по причине узкой полосы согласования малогабаритных антенн с радиостанцией [2].

Очевидно, что для эффективного использования малогабаритных антенн, которые по своей природе весьма узкополосные, целесообразно использовать узкополосные радиосигналы. Но на практике дело обстоит совсем не так. В системе радиопривода используют широкополосные сигналы класса излучения А2А. Попытки расширить полосу согласования малогабаритной антенны до ширины полосы излучаемого сигнала приводят к уменьшению КПД антенны. В результате радиус действия приводной радиостанции уменьшается и на входе автоматического радиоконуса вертолёта или самолёта не обеспечивается требуемое отношение сигнал/шум (ОСШ) [3]:

$$P_c/P_{ш} \geq 10. \quad (1)$$

Альтернативный путь решения задачи — уменьшить полосу сигнала до полосы согласования с антенной.

Для неискаженной передачи опознавательного знака требуется узкая полоса частот. Опознавательный знак представляет собой одну-две буквы русского алфавита, он излучается в коде Морзе в режиме слуховой телеграфии [4]. Наибольшая скорость телеграфирования 5 бод достигается при передаче букв «С» (три точки) и «Х» (четыре точки). В классе излучения А2А сигнал занимает полосу 2030 Гц, тогда как в классе излучения А1А полоса составит всего 15 Гц (в 135 раз меньше). Спектры сигнала в обоих классах излучения представлены на рис. 2.

Полоса излучаемого в эфир сигнала не должна быть больше полосы согласования ($2\Delta f$) малогабаритной антенны с радиостанцией. Отношение центральной частоты f_0 полосы согласования антенны к ширине полосы $2\Delta f$ численно равно добротности антенны:

$$Q = \frac{f_0}{2\Delta f}. \quad (2)$$

Добротность идеальной (без потерь) антенны (т. н. «внешняя» добротность), равна отношению:

$$Q_0 = \frac{X}{2R_{\Sigma}}, \quad (3)$$

где X — реактивная часть входного сопротивления антенны, R_{Σ} — сопротивление излучения. Двойка в знаменателе введена для учета выходного сопротивления передатчика трансформированного к антенне (по условию согласования). В формулах переменные с индексом «0» относятся к идеальным антеннам.

Добротность идеальной антенны зависит от её габаритов и не может быть меньше величины, определяемой выражением [2]:

$$Q_0 = \left[\frac{1}{(ka)^3} + \frac{1}{ka} \right], \quad (4)$$

где $k = 2\pi/\lambda$ — волновое число, a — радиус сферы описанной вокруг антенны.

Чем меньше габариты, тем больше добротность и меньше полоса согласования антенны. Для уменьшения добротности и расширения полосы согласования в цепь антенны вносят потери. Добротность антенны с потерями (т. н. «добротность антенного устройства») определяется выражением:

$$Q = \frac{X}{2(R_{\Pi} + R_{\Sigma})}, \quad (5)$$

где R_{Π} — сопротивление потерь. Чем больше R_{Π} , тем меньше КПД антенны:

$$\text{КПД} = \frac{R_{\Sigma}}{(R_{\Pi} + R_{\Sigma})}. \quad (6)$$

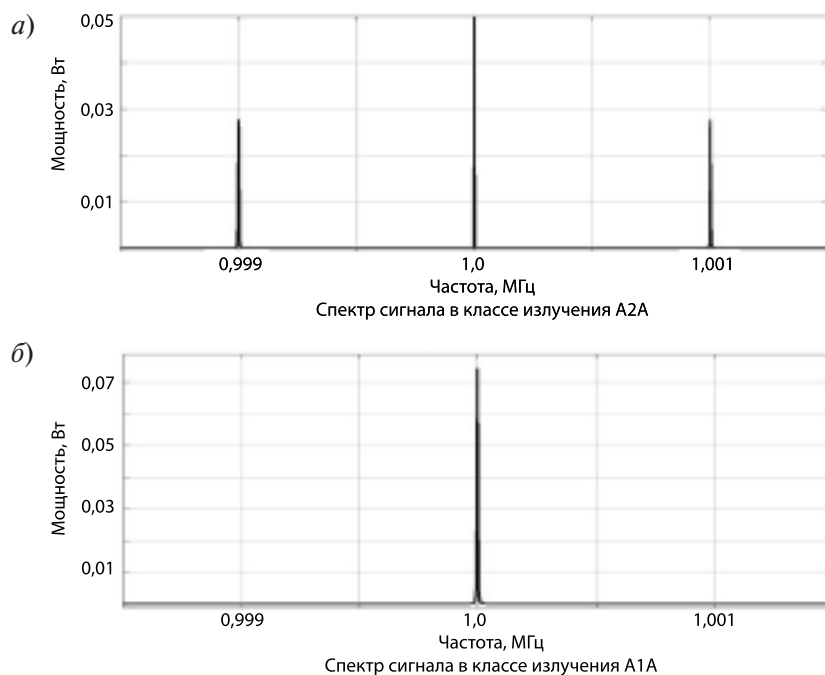


Рис. 2. Спектры сигнала в классах излучения А2А (а) и А1А (б)

В диапазоне ДВ-СВ сопротивление излучения много меньше сопротивления потерь $R_{\Sigma} \ll R_{\Pi}$. С достаточной для практики точностью можно считать, что КПД обратно пропорционален сопротивлению потерь:

$$\text{КПД} \sim 1/R_{\Pi}.$$

Сопротивление потерь должно быть достаточным для согласования антенны в полосе сигнала, но при этом должно быть обеспечено требуемое ОСШ (1).

Используя формулы (3) и (5) можно записать КПД как отношение добротности антенны с потерями к добротности этой же антенны без учёта потерь:

$$\text{КПД} = \frac{Q}{Q_0}. \quad (7)$$

Из выражений (3)...(7) следует вывод, что КПД малогабаритной антенны обратно пропорционален ширине полосы согласования. Согласованная в широкой полосе малогабаритная антенна имеет малый КПД.

Уменьшив полосу опознавательного сигнала в 135 раз, можно использовать малогабаритную антенну с меньшим, примерно в 135 раз, сопротивлением потерь R_{Π} . Во столько же раз будет больше КПД передающей антенны, и во столько же раз будет больше мощность опознавательного сигнала принятого радиокompасом вертолётa или самолётa.

Далее следует уменьшить полосу пропускающей приёмника радиокompаса с 600 Гц [3] до 15 Гц, т. е. в 40 раз, мощность шумов на входе приёмника также уменьшится в 40 раз.

В результате замены класса излучения А2А на А1А отношение сигнал/шум на входе приёмника радиокompаса возрастёт в $135 \cdot 40 = 5400$ раз, т. е. на 37 дБ!

Уменьшение полосы сигнала даёт возможность уменьшить габариты передающей антенны, обеспечив при этом требуемую эффективность системы радиопривода. Авторам удалось показать, что в наихудших условиях эксплуатации радионавигационного комплекса, а именно, на трассах со значительным преобладанием сухой почвы и при максимальной мощности шумов требуемое ОСШ может быть обеспечено антенной таких габаритов, что радиус сферы описанной вокруг антенны составит 1,5 м [5]. Антенна таких габаритов может быть выполнена в соответствии с технологией Стелс. Она может быть установлена, например, на крыше вертолётного ангара.

Для иллюстрации этого вывода авторами выполнен расчет малогабаритных антенных устройств: электрического и магнитного типов. В их конструкциях использованы серийные изделия, выпускаемых промышленностью.

Антенное устройство электрического типа, схема которого представлена на рис. 3, состоит из несимметричного излучателя с верхней емкостной нагрузкой (А), антенного контура ($L_{ак}$), сопротивления потерь (поглотителя) (R_{Π}), и Г-образного согласующего устройства (СУ) на реактивных элементах L_p и C_s . Несимметричный излучатель с верхней емкостной нагрузкой изображен на рис. 4. По условию габариты антенны таковы, что радиус описанной вокруг неё сферы равен 1,5 м. Длина вертикальной части излучателя $l = 1,5$ м, диаметр 6 дюймов (радиус $a = 165$ мм), верхняя емкостная нагрузка — диск радиусом $r = 1,5$ м.

Моделирование антенного устройства выполнено в программе *RFSim99*. Частотная зависимость коэффициентов передачи (S_{21}) и отражения на входе антенного устройства (S_{11}) представлена на рис. 5. При разбросе электрических параметров в пределах 5% обеспечиваются согласование с приводной радиостанцией на уровне КБВ = 1...0,6.

Аналогичные параметры имеет малогабаритное антенное устройство магнитного типа (рисунок 6), в котором излучателем (А) является горизонтальная многовитковая рамка радиусом 1,5 м и длиной 0,6 м.

Колебательный контур на частотах в диапазоне 190...1750 кГц образован излучателем и серийно выпускаемым вакуумным переменным конденсатором $C_{ак}$ марки КП1–12 4 кВ, ёмкость которого может меняться в пределах 10...1200 пФ. Допустимое напряжение на клеммах конденсатора 4 кВ.

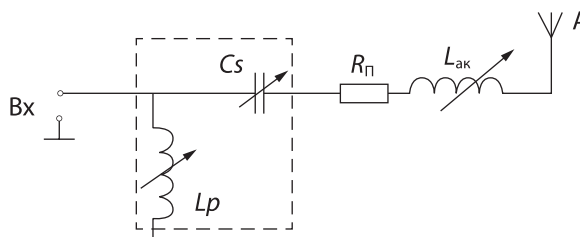


Рис. 3. Схема антенного устройства электрического типа с согласующим устройством на реактивных элементах с последовательной ёмкостью

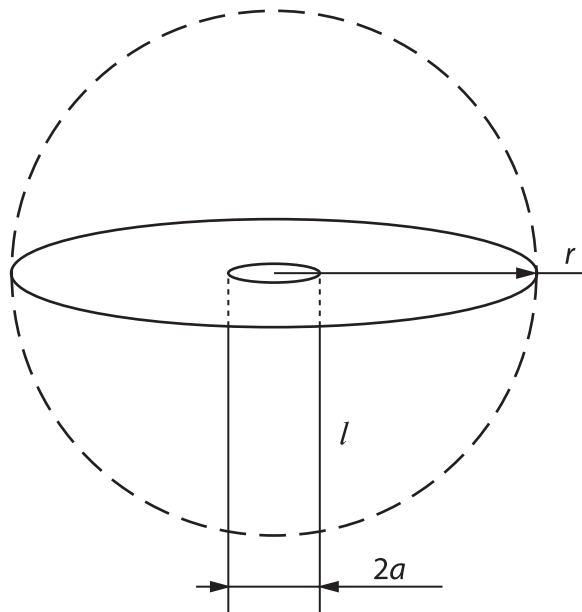


Рис. 4. Несимметричный излучатель с верхней емкостной нагрузкой

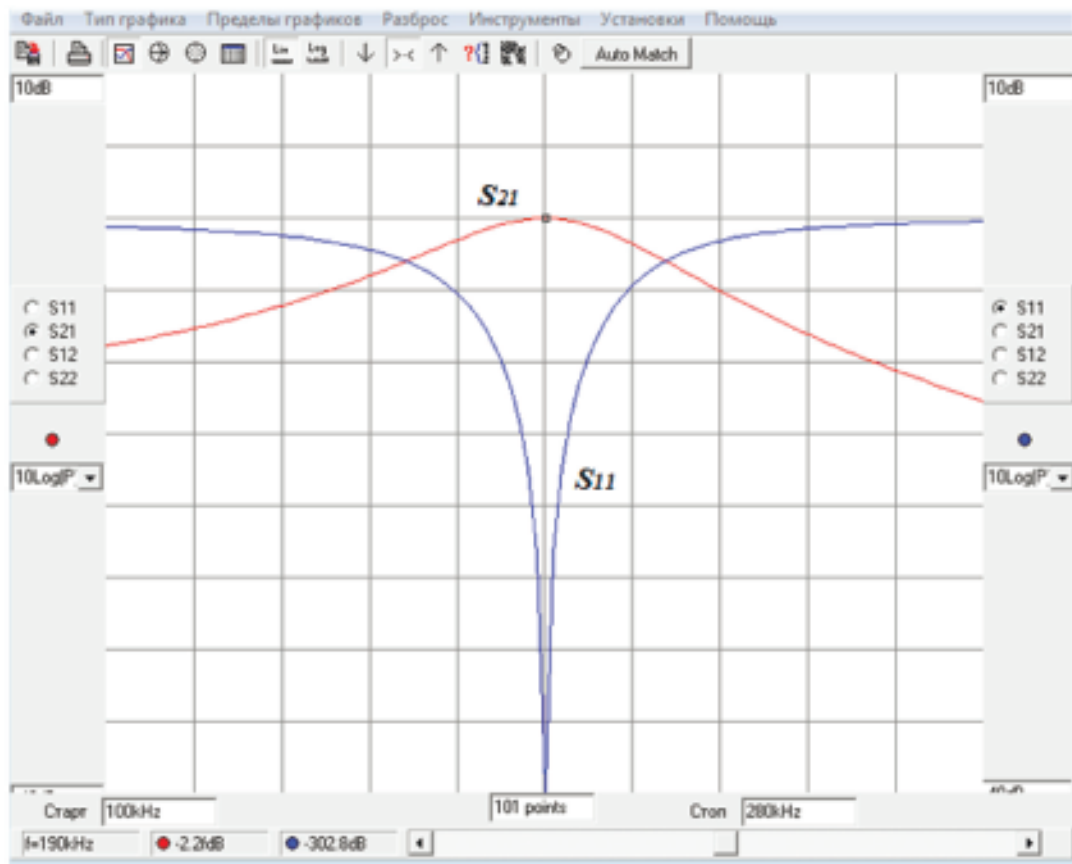


Рис. 5. Частотная зависимость коэффициентов передачи S_{21} и отражения S_{11} на входе антенного устройства

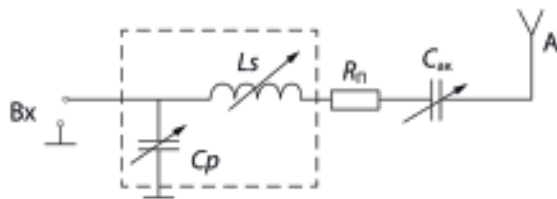


Рис. 6. Схема антенного устройства магнитного типа с согласующим устройством на реактивных элементах с последовательной индуктивностью

Следует принять во внимание, что замена класса излучения корабельной приводной радиостанции требует модернизации автоматического радиокompаса палубной авиации с целью обеспечения приёма опознавательного знака в двух классах излучения: А1А — для привода на авианесущий корабль и А2А — для привода на береговой аэродром. Модернизация коснётся только селективных цепей и детекторной части радиокompаса. Конструктивные изменения не потребуются. Габариты радиокompаса, его посадочное место и внешние подключения останутся прежними.

Для проверки эффективности малогабаритных антенн в классе А1А выполнен энергетический расчёт радиолинии «корабль-вертолёт» в наихудших условиях работы радиопривода — при выполнении полётов на максимальном удалении 150 км на высоте 1 км над очень сухой почвой характерной для пустыни при максимальном уровне помех. Мощность передатчика приводной радиостанции принята равной 400 Вт, класс излучения А1А.

Расчёт множителя ослабления вычислен по методике [6].

Мощность шума на входе радиокompаса найдена в соответствии с Рекомендацией МСЭ-R P. 372–10 [7].

Величина ОСШ в полной мере обеспечивает работу радиокompаса в режиме автоматического указания курса (1). На краях диапазона

рабочих частот ОСШ имеет величину на частоте 190 кГц: 12,3 дБ ночью и 38,9 дБ днём, а на частоте 1750 кГц: 25,4 дБ ночью и 49,4 дБ днём.

Результаты энергетического расчёта радиолинии «корабль-вертолёт» подтверждают возможность малогабаритных антенных устройств обеспечить в классе излучения А1А требуемое ОСШ ≥ 10 дБ на входе радиокompаса при мощности приводной радиостанцией 400 Вт.

Заключение

Проблема миниатюризации антенны ДВ-СВ диапазона приводной радиостанции авианесущего корабля может быть решена на основе использования в системе радиопривода узкополосных сигналов, а именно путём замены класса излучения А2А на А1А. Уменьшение полосы сигнала позволит реализовать миниатюрную передающую антенну диапазона ДВ-СВ, которую можно вписать в сферу радиусом 1,5 м. Эффективность радионавигационного комплекса при этом будет достаточна для обеспечения привода самолётов на авианесущий корабль в самых сложных условиях.

Использование узкополосных сигналов в системе радиопривода требует модернизации автоматического радиокompаса с целью обеспечения приёма опознавательного знака в двух классах излучения: А1А — для привода на авианесущий корабль и А2А — для привода на береговой аэродром. Габариты, элементы крепления и внешние подключения модернизированного радиокompаса останутся прежними.

Уменьшение габаритов корабельной антенны приводной радиостанции позволит отказаться от дополнительной мачты, что улучшит боевые качества авианесущих кораблей: уменьшит их радиолокационную заметность и улучшит ходовые качества за счёт уменьшения габаритов и массы корпуса корабля.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ломакова А. С., Русин С. В., Савенкова Ю. В., Шевченко В. В. Возможности миниатюризации антенны приводной радиостанции // Техника средств связи. 2018. № 4. С. 111–115.

2. Mc. Lean J.S. Are-examinationofthefundamental-limitsontheradiation Qoftheelectricallysmallantennas // IEEETrans. Antennasand Prop.— 1996. — Vol. 44. № 5. — P. 672–676.

3. Автоматический радиокompас АРК-11. Техническое описание. // URL: <http://oleg-tulin.narod.ru/index/0-13> (дата обращения 25.05.2016).

4. Изделие РПДУ Р — 637 ЖЯ1.201.009 ТУ Технические условия.

5. **Ломакова А. С., Русин С. В., Савенкова Ю. В.** Предельно достижимые габариты антенны радионавигационного комплекса // Современное состояние и

перспективы развития систем связи и радиотехнического обеспечения в управлении авиацией: материалы V всерос. научн. конф., Воронеж, 13 октября 2016 г.

6. **Фок В. А.** Поле от вертикального и горизонтального диполя, приподнятого над поверхностью Земли // ЖЭТф.— 1949. — Т. 19. — Вып. 10.

7. Рекомендация МСЭ-RR.372-10 (10/2009) «Радиошум».

В. А. Мешалкин

Кандидат технических наук, старший научный сотрудник,
Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного

В. Д. Пашкевич

ОАО «НТИ «Радиосвязь»

С. В. Русин

Кандидат технических наук, ПАО «Интелтех»

ВОЗМОЖНОСТИ КОНТИНЕНТАЛЬНЫХ РАДИОЦЕНТРОВ В ОБЕСПЕЧЕНИИ СВЯЗИ С КОРАБЛЯМИ НА ТРАССАХ СЕВЕРНОГО МОРСКОГО ПУТИ

АННОТАЦИЯ. В статье представлены результаты исследований возможностей континентальных КВ радиоцентров гарантированно обеспечить радиосвязь с кораблями на трассах Северного морского пути и в новых полярных районах НАВАРЕА/МЕТАРЕА XX и XXI. Подробно рассмотрены методы расчета энергетики радиоканалов в полярных физико-географических условиях. Представлены результаты расчета вероятности обеспечения радиосвязи в КВ диапазоне.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Северный морской путь; Глобальная морская система связи при бедствии и для обеспечения безопасности; районы НАВАРЕА/МЕТАРЕА XX и XXI; радиоцентр; ионосфера.

Северный морской путь (СМП), кратчайший морской путь между Европейской частью России и Дальним Востоком, определен законодательством РФ как «исторически сложившаяся национальная единая транспортная коммуникация России в Арктике» [1–3]. Следует учитывать, что значительная часть трасс СМП находятся за пределами территориальных вод, т. е. на расстоянии более 12 миль от базовых линий, и в соответствии с конвенцией ООН 1982 года по морскому праву являются зоной свободной навигации.

Очевидно, также, что свобода навигации и безопасность навигации по СМП — далеко не одно и то же. Ответственность за предотвращение ущерба для окружающей среды от навигации не приспособленных к арктическим условиям судов несут прибрежные арктические страны. Российская Федерация, кроме того, несет ответственность за гарантированную

передачу информации по безопасности мореплавания (ИБМ) на корабли, как вдоль трасс СМП, так и на новые приполярные районы НАВАРЕА/МЕТАРЕА XX и XXI.

Информация по безопасности мореплавания доводится на суда преимущественно по спутниковой системе связи ИНМАРСАТ. Но значительная доля приполярных районов НАВАРЕА/МЕТАРЕА XX и XXI и трасс СМП находятся за пределами радиогоризонта геостационарных спутников, т. е. по классификации Международной морской организации находятся в морском районе А4, на который передача ИБМ обеспечивается радиосредствами ПВ/КВ диапазона (длины волн 200...10 м).

Гарантированное доведение информации по безопасности мореплавания на всей протяженности СМП радиосредствами ПВ/КВ диапазона должно осуществляться достаточным количеством радиоцентров. Выполнение

соответствующих функций в системе Глобальной морской системе связи при бедствии и для обеспечения безопасности (ГМССБ), а именно: передачу метеорологической и навигационной информации, а также приём сигналов бедствия, эти радиоцентры должны совмещать с функцией КВ радиоточек доступа для кораблей, находящихся на СМП.

В Арктике в советское время была создана мощная оборонительная линия. Заполярные порты от Мурманска до Бухты Провидения обслуживали СМП и были точками стратегической обороны Советского Союза. Использование готовой береговой инфраструктуры для развёртывания системы КВ ионосферной радиосвязи с кораблями на СМП бесперспективно, поскольку в полярной ионосфере нередко возникают длительные периоды поглощения радиоволн, когда связь кораблей с береговыми радиоцентрами становится невозможной [4].

В то же время надёжная радиосвязь с кораблями возможна от континентальных радиоцентров на дистанциях 2...3 тыс. км. Это объясняется тем, что на протяженных радиолиниях точка отражения от ионосферы находится за пределами области полярного поглощения. Кроме того, радиолинии протяженностью 2...3 тыс. км имеют максимальную пропускную способность, т. к. на таких радиолиниях используются рабочие частоты верхней части КВ диапазона, наименее загруженного помехами. Кроме того такие радиолинии в меньшей степени подвержены замираниям, благодаря особенностям распространения радиоволн на пологих траекториях [5].

В результате исследований, проведённых авторами статьи, найдено наилучшее расположение таких радиоцентров в глубине РФ, в районах с развитой инфраструктурой — в Подмосковье и Якутске. Надёжная радиосвязь с кораблями обеспечивается круглосуточно при своевременном переходе на оптимальные рабочие частоты. Как правило, достаточно дважды в сутки сменить рабочую частоту.

Исследована возможность обеспечения гарантированной передачи информации по безопасности мореплавания от континентальных радиоцентров как на корабли вдоль трасс Северного морского пути, так и на новые приполярные районы НАВАРЕА/МЕТАРЕА ХХ и ХХI, с использованием коротковолновых радиосредств, в режиме узкополосного буквопечатания.

Высокие показатели качества связи с кораблями на трассах СМП достигаются при использовании на береговых радиоцентрах передатчиков мощностью не более 5 кВт и стандартных магистральных антенн типа $РГД \frac{65}{4}1$ и $РГД \frac{75}{4}1$.

Получена оценка вероятности обеспечения связи с судами на СМП.

Для оценки вероятности обеспечения связи использована международная справочная модель ионосферы (IRI) [6], которая позволяет описывать широкий класс явлений, обусловленных влиянием неоднородностей ионосферы на радиосвязь КВ диапазона, и является хорошей основой для проведения расчетов траекторных, энергетических и поляризационных характеристик при ионосферном распространении радиоволн в северных широтах.

Расчет проводился в программном пакете «Комплекс программ расчета радиолиний ДКМ диапазона «Трасса-2003» [7]. В соответствии с рекомендациями ИТУ-R (МККР), качество связи оценивалось по трём параметрам: категории обслуживания, времени действия и вероятности обслуживания.

При оценке вероятности обеспечения связи СМП условно разделен на две части: западную — от границ Норвегии до пролива Вилькицкого и восточную — от пролива Вилькицкого до Берингова пролива. Удалённость континентальных радиоцентров в Подмосковье от западной части трасс СМП и в Якутске от восточной части трасс СМП близка к оптимальной для обеспечения радиосвязи высокого качества (2...3 тыс. км). При использовании передающих антенн с коэффициентами усиления 13 дБ и передатчиков мощностью 5 кВт, гарантировано обеспечивается связь на всей протяженности СМП на частотах 6...16 МГц.

В западной части СМП эффективная передача ИБМ на район НАВАРЕА/МЕТАРЕА ХХ может быть обеспечена из Подмосковья. Результаты расчета зон уверенного приёма в восточной части СМП с вероятностью обслуживания не хуже 0,8 на частоте 12 МГц изображены на рис. 1 закрашенными областями на фоне карты.

Надёжный приём сигналов от кораблей обеспечивается эффективными приёмными антеннами бегущей волны, например, однопроводными антеннами ОБ-Е.

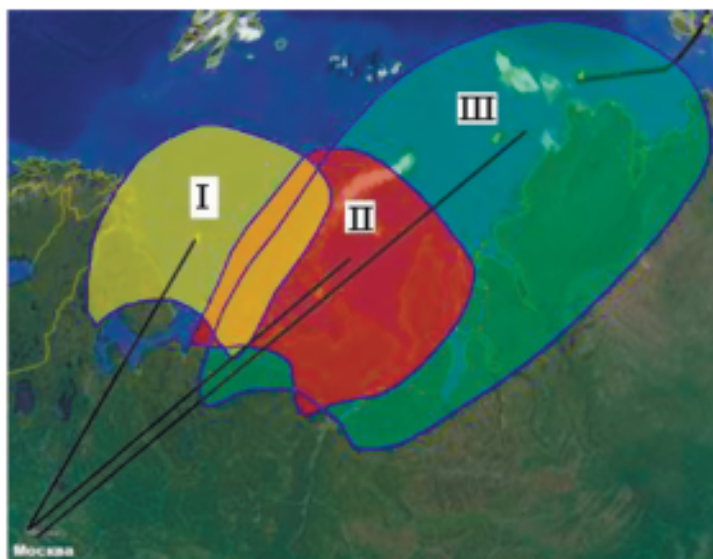


Рис. 1. Зоны уверенного приёма в западной части СМП



Рис. 2. Зоны уверенного приёма в восточной части СМП

В восточной части СМП эффективная передача ИБМ на район НАВАРЕА/МЕТАРЕА XXI может быть обеспечена радиоцентром в районе Якутска.

По протяженности и диапазону рабочих частот радиолинии в западной и восточной частях СМП аналогичны. Результаты расчета зон уверенного приёма в восточной части СМП

с вероятностью обслуживания не менее 0,8 на частоте 8 МГц изображены на рис. 2 закрашенными областями на фоне карты.

Высокая вероятность обеспечения связи с кораблями в западной и в восточной частях СМП (представлена в таблицах 1, 2 и 3, 4, соответственно) может быть обеспечена при следующих технических параметрах радиолинии:

Таблица 1

Вероятность (%) доведения ИБМ до кораблей в западной части СМП

Частота\ Время суток	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
8	99	99	99	99	97	88	96	92	83	78	74	70	67	68	71	76	85	91	95	91	98	99	99	99
12								98	97	96	95	95	95	95	95	97	99	98	98	99	99	99	99	
16										99	98	98	98	98	98	99	99	99	98					

Таблица 2

Вероятность (%) приёма сигналов от кораблей в западной части СМП

Частота\ Время суток	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
8	94	94	99	87	87	80	77	84	82	72	67	64	63	62	65	70	72	62	86	93	91	95	94	94
12								92	89	91	88	87	86	86	89	93	88	96	96	98	98	99	94	94
16									99	93	91	90	89	90	92	93	94	97	98					

Таблица 3

Вероятность (%) доведения ИБМ до кораблей в восточной части СМП

Частота\ Время суток	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
8	95	88	86	86	84	70	66	66	69	86	89	53	82	94	97	98	99	99	99	99	99	99	99	99
12	96	84	97	95	88	93	94	94	95	92	93	93	98	99	99	99								
16					98	97	98	98	98	98	98	99	99	98										

Таблица 4

Вероятность (%) приёма сигналов от кораблей в восточной части СМП

Частота\ Время суток	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
8	82	80	75	69	67	47	40	39	45	68	71	66	59	79	87	95	94	94	94	94	94	95	95	94
12			85	78	71	77	83	83	83	75	77	86	89	93	95	98								
16					93	85	87	93	91	90	91	95	97	91										

на корабле: мощность передатчика 1 кВт, приёмная и передающая антенны — штыревые длиной по 8 м;

на континентальном радиоцентре: мощность передатчика 5 кВт, передающие антенны РГД $\frac{65}{4}$ 1 и РГД $\frac{75}{4}$ 1, приёмная антенна — ОБ-Е.

Результаты проведенных расчетов по определению радиосредств и рабочих частот с целью гарантированной передачи ИБМ на районы XX и XXI подтверждаются многолетним опытом эксплуатации коротковолновых радиоцентров, а также практическими испытаниями. Для достижения поставленной цели достаточно двух континентальных радиоцентров: первый — в Подмоскowie, второй — в районе г. Якутск.

Районы расположения континентальных радиоцентров ГМССБ обеспечивают надежную и бесперебойную передачу информации по безопасности мореплавания на высокоширотных трассах при использовании передатчиков мощностью до 5 кВт и стандартных магистральных антенн.

В заключении можно отметить, что целью исследования являлось определение состава и структуры построения континентальных радиоцентров, обеспечивающих гарантированную передачу ИБМ на районы НАВАРЕА/МЕТАРЕА XX и XXI с минимальными экономическими и энергетическими затратами и реализующих устойчивую КВ радиосвязь с заданным качеством с судами на СМП. Исследована

возможность обеспечения приёма аварийных вызовов судов из различных районов Мирового океана и обеспечения связи при проведении аварийно-спасательных работ. Основное внимание уделено достижению высокой вероятности обеспечения связи хорошего качества.

Обоснован выбор мест установки континентальных радиоцентров ГМССБ: в Подмоскowie и в Якутске для обеспечения гарантированной передачи ИБМ на протяжении СМП в границах ответственности Российской Федерации.

Для эффективного использования радиоцентров в качестве КВ радиоточек доступа требуется обеспечить цифровой метод передачи телефонных сообщений и высокую скорость передачи данных. Это возможно, если использовать эффективные приёмные и передающие антенны, желательно круговой поляризации. Эти меры позволят еще больше увеличить вероятность обеспечения связи высокого качества, т. к. сигналы в цифровом виде излучаются на одном уровне, соответствующем максимальной излучаемой мощности передатчика, антенны круговой поляризации обеспечивают энергетический выигрыш 8...10 дБ по сравнению с антеннами линейной поляризации.

Модернизация антенных устройств и радиопередатчиков в целях реализации цифровых методов передачи телефонных сообщений, а также внедрение современных методов расчёта оптимальных рабочих частот позволяют решить задачу надёжной и оперативной связи в акватории Арктики и на трассах СМП.

ЛИТЕРАТУРА

1. Прогноз Долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2030 года (Разработан министерством экономического развития Российской Федерации). URL: <http://www.consultant.ru/cons>(дата обращения: 29.11.2017).
2. Федеральный закон от 28 июля 2012 г. N132-ФЗ «О внесении изменений в некоторые законодательные акты Российской Федерации в части государственного регулирования торгового мореплавания в акватории Северного морского пути» (Принят Государственной Думой 3 июля 2012 года. Одобрен Советом Федерации 18 июля 2012 года). URL: <http://www.consultant.ru/cons>(дата обращения: 29.11.2017).
3. Морская доктрина Российской Федерации на период до 2020 года (утв. Президентом РФ 27.07.2001). URL: <http://www.consultant.ru/cons> (дата обращения: 29.11.2017).
4. Благовещенский Д. В. Короткие волны в аномальных радиоканалах. — Saarbrücken, Germany, 2011, 422 с.
5. Головин О. В., Простов С. П. Системы и устройства коротковолновой радиосвязи. — М.: Горячая линия-Телеком, 2006. 598 с.
6. ITU-R. «Real-time channel evaluation of HF ionospheric radio circuits», ITU-R Rec. Rep. 889-2 (1990).
7. Барабашов Б. Г., Анишин М. М. Прогнозирование характеристик декаметровых каналов связи // Труды НИИР. — 2002. — С. 99–103.

А. А. Моисеев

Кандидат военных наук, профессор, ПАО «Интелтех»

А. В. Чуев

Кандидат технических наук, доцент, ПАО «Интелтех»

Д. В. Салюк

Кандидат технических наук, доцент, ПАО «Интелтех»

А. А. Киселев

Кандидат технических наук, доцент, ПАО «Интелтех»

ИНФОКОММУНИКАЦИОННАЯ СЕТЬ, КАК ОБЪЕКТ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА

АННОТАЦИЯ. В работе представлен методологический подход рассмотрения инфокоммуникационной сети в рамках системного анализа. Содержательная часть статьи посвящена раскрытию неформальных, содержательных признаков системы: расчлененности, целостности, связанности и неаддитивности.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: системный анализ, инфокоммуникационная сеть, системный подход, стратификация.

Введение

На сегодняшний день системный анализ прочно укрепился в теории и практике научных исследований. В наше время есть понимание необходимости применения системного подхода к решению проблем различного характера, но далеко не всегда есть понимание, каким образом использовать этот подход на практике. В некоторых случаях системность служит не более чем лозунгом, а иногда ширмой, прикрывающей, по сути, не полностью системные исследования. Отдельные научные направления, будучи системными по своему существу, обособливаются и, теряя связь с системной идеологией, приобретают черты однобокости или фрактальности [1].

Негативные последствия такого разрозненного, дифференцированного подхода к познанию систем очевидны: подмена целостного фрагментами приводит к необоснованным оценкам проблемных ситуаций, к неустойчивости принимаемых решений и к многочисленным просчетам при их воплощении в жизнь.

Такое положение дел справедливо и для области инфокоммуникаций, в частности, для инфокоммуникационной сети (ИКС). Одна из причин сложившейся ситуации заключается в отсутствии достаточного количества публикаций по вопросам современного состояния теории и практики создания (проектирования, планирования) и модернизации инфокоммуникационных сетей. Большинство монографий, научных статей и учебных источников по этой тематике, как правило, разрознены и отражают в основном частные результаты, которые были достигнуты и получены авторами в этой стремительно развивающейся отрасли научных знаний.

Исходя из этого, за основу комплексного, всестороннего исследования инфокоммуникационной сети выбран системный анализ.

Предмет системного анализа и его место в общей структуре научных знаний определяются, прежде всего, тем, что он воплощает на практике идеологию системного подхода к изучению природных и общественных явлений с целью разрешения возникающих проблем.

Это означает, что в основе его категориального аппарата, концепций, методов и приемов лежат идеи системного подхода, конкретизированные применительно к разрешаемой проблеме.

Вместе с тем, системный подход и системный анализ это различные научные направления. Системный подход выступает по отношению к системным аналитическим исследованиям своеобразной базой идей, философской основой. В свою очередь системный анализ не просто редуцирует идеи и концепции системного подхода, а наполняет их конкретным содержанием и наделяет соответствующей интерпретацией. Совместное развитие этих научных направлений идет через разрешение диалектического противоречия «общее-частное», ведущее к их взаимному обогащению [1].

Объектом системного анализа в нашем случае выступает инфокоммуникационная сеть, которую необходимо создать (спроектировать, спланировать) или модернизировать, с целью предоставления услуг абонентам (потребителям) с заданным качеством. При этом рассматриваемая сеть является общим, обобщающим случаем инфокоммуникационной сети, без привязки к назначению, задачам, условиям ее функционирования, средствам ее образующим.

Инфокоммуникационная сеть или система представляет собой симбиоз телекоммуникационной сети и аппаратно-программных средств получения, хранения, передачи, приема и обработки информации. Или другими словами — все элементы, которые входят в состав сети или системы связи, включая и оконечные устройства, предоставляющие услуги связи. Элементы сети (системы) содержат в своих схемных решениях микропроцессоры, которые работают под определенной операционной средой и специализированным программным обеспечением, имеют информационную составляющую в виде различных баз данных, знаний и т. п.

В теории системного анализа утверждается, что сущность такого предельно широкого и емкого понятия, как система, невозможно раскрыть через другие более частные сущности, и соответственно сформулировать его определение в виде одной сколь угодно сложной синтагмы. Вероятно, и стремиться к этому нет особой необходимости. С практической точки зрения его следует признать открытым, непрерывно развивающимся понятийным объектом,

не определяемым исчерпывающим образом в рамках каких бы то ни было логических или формальных построений.

Мы будем исходить из того, что при проведении системных аналитических исследований сущность таких первообразных понятий может быть раскрыта только через выработанные практикой неформальные признаки, характеристики и классификации. Причем их не следует воспринимать как догму — в зависимости от целей и задач исследования они могут пополняться, уточняться и модифицироваться.

В настоящее время общепринято, что неформальными, содержательными признаками системы являются: расчлененность, целостность, связанность и неаддитивность [1, 2].

1. Расчлененность

Исследуемый объект расчленим, если существует возможность выделить в нем фиксированное число составных частей первого уровня, а в них части второго уровня и так далее вплоть до последнего уровня, состоящего из неделимых далее частей. Составные части представленного таким образом объекта, кроме частей последнего уровня, называются подсистемами. Части последнего или низшего уровня принято именовать элементами. Элементы и подсистемы обозначаются обобщающим термином «компоненты».

Понятие «уровень» употребляется в системном анализе в четырех значениях [1]:

1) Уровень трактуется в организационном плане (уровни-эшелоны).

2) Уровнем фиксируется определенная общность законов функционирования, единство пространственно-временной топологии и субстанционального построения определенных компонентов изучаемой системы (уровни-страты).

3) Понятием уровня выражается точка зрения исследователя на различные аспекты изучаемой системы (уровни-слои).

4) Определением уровня часто выражается оценочная характеристика анализируемого объекта или явления (уровни-оценки).

Тогда уровни представления для инфокоммуникационной сети, с точки зрения системного анализа, можно записать в виде упорядоченной последовательности (кортежа) уровней:

$$Y_{ИКС} = \langle Y_{\text{Э}}, Y_{\text{Ст}}, Y_{\text{Сл}}, Y_{\text{О}} \rangle,$$

где $Y_{\text{Э}}$ — уровни-эшелоны, $Y_{\text{Ст}}$ — уровни-станции, $Y_{\text{Сл}}$ — уровни-слои, $Y_{\text{О}}$ — уровни-оценки.

С этой точки зрения инфокоммуникационную сеть можно представить в виде следующих уровней-эшелонов (рис. 1).

Инфокоммуникационная сеть собственно и является системой, которая подлежит описанию и дальнейшему исследованию. В свою очередь она включает подсистемы: узлов (станций), линий, управления, обеспечения, резервов.

Подсистема узлов (станций) обеспечивает передачу, прием, обработку, хранение и предоставление информации, образование необходимого количества каналов (трактов) связи для удовлетворения инфокоммуникационных потребностей абонентов (пользователей) в услугах (телекоммуникационных, информационных и дополнительных) с требуемым качеством.

Подсистема линий связи выполняет задачи по образованию каналов (трактов) связи и их распределению по узлам (станциям).

Общими элементами для перечисленных подсистем являются устройства передачи, приема и обработки сигналов, а также различная среда распространения сигналов для линий передачи.

Подсистема управления осуществляет целенаправленное воздействие на подсистемы и элементы инфокоммуникационной сети для выполнения возложенных на нее задач и обеспечения требований, предъявляемых к ней.

Для реализации цели управления инфокоммуникационной сетью создается совокупность элементов, которая включает, в общем случае, органы управления, объекты управления и каналы связи между ними, образованные средствами управления.

Подсистема обеспечения необходима для решения вопросов всестороннего материального, технического, финансового, программного, электрического, геоинформационного и т. п. снабжения. Представленный перечень элементов подсистемы обеспечения может быть изменен или дополнен, в зависимости от конкретных задач, решаемых инфокоммуникационной сетью.

Подсистема резервов предназначена для решения внезапно возникающих задач, связанных с изменениями условий функционирования инфокоммуникационной сети, когда возникает необходимость резервирования, восстановления или наращивания полноценного функционирования инфокоммуникационной сети. Элементами этой подсистемы являются специально создаваемые силы и средства.

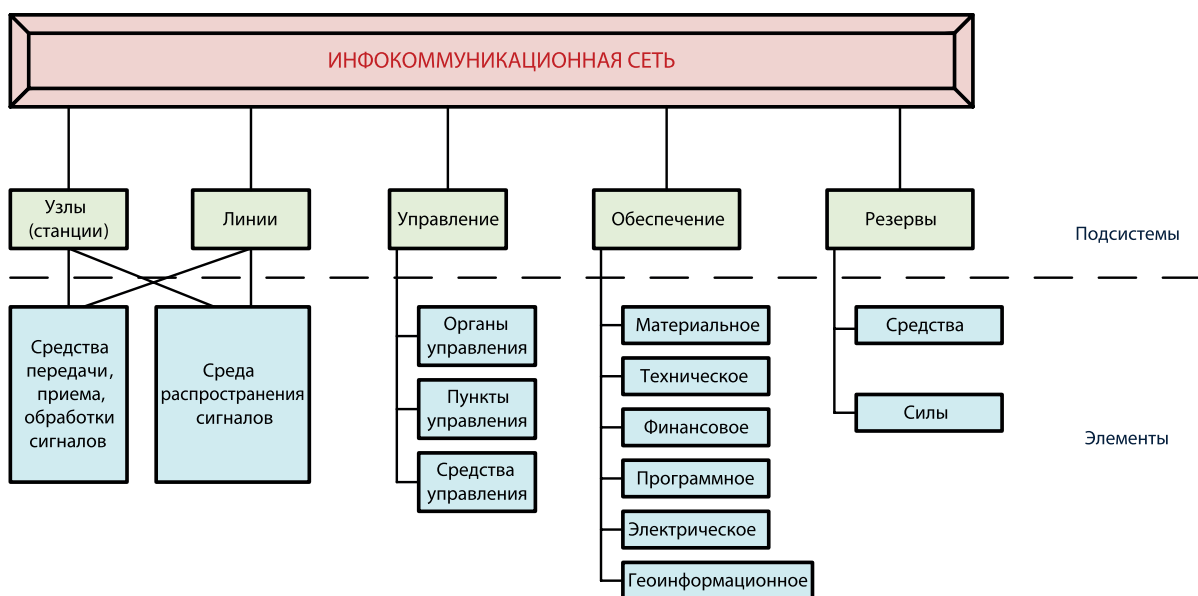


Рис. 1. Организационное представление инфокоммуникационной сети

Необходимо отметить, что можно продолжить детализацию организационного построения инфокоммуникационной сети, но представленный состав, исследуемого объекта вполне соответствует выше заявленной цели.

Таким образом, признак расчлененности инфокоммуникационной сети с точки зрения организационного построения можно представить в виде:

$$Y_9 = \langle Ps_c, Ps_l, Ps_y, Ps_o, Ps_p \rangle,$$

где Ps_c — подсистема узлов (станций), Ps_l — подсистема линий связи, Ps_y — подсистема управления, Ps_o — подсистема обеспечения, Ps_p — подсистема резервов.

С позиций общности законов функционирования, единства пространственно-временной топологии и субстанционального построения определенных компонентов изучаемой системы инфокоммуникационная сеть может рассматриваться на различных уровнях (социальном, экономическом, информационно-управленческом, технологическом и т. п.). Имеющиеся на сегодняшний день представления о инфокоммуникационной сети [3, 4] позволяют ее стратифицировать по следующим уровням (рис. 2):

- по категориям ($St_{кат}$);
- по территориальному делению и назначению ($St_{тл}$);
- по функциональному признаку ($St_{фп}$);
- по типу присоединяемых абонентских терминалов ($St_{ат}$);
- по выполнению требований по устойчивости, безопасности ($St_{уст}$);
- по количеству служб электросвязи ($St_{сэ}$);
- по виду коммутации ($St_{ком}$);
- по технологии распределения информации ($St_{ри}$);
- по характеру среды распространения сигнала ($St_{сп}$);
- по месту на рынке (St_p);
- по обеспечению функционирования ($St_ф$);
- по уровням взаимодействия ($St_{вз}$);
- по функциональным областям управления ($St_{фо}$);
- по признакам передаваемого сообщения ($St_{пс}$);
- по виду программного обеспечения ($St_{впо}$);
- по уровню программного обеспечения ($St_{упо}$);
- по виду информационного фонда ($St_{иф}$);
- по виду базы данных ($St_{бд}$);

по виду системы управления базами данных (СУБД) ($St_{субд}$);

по назначению услуг ($St_{усл}$);

по важности услуг ($St_{вусл}$);

по характеру использования услуг ($St_{хусл}$);

по группам пользователей (абонентам) ($St_{аб}$), т. е.

$$Y_{Ст} = \left\langle \begin{array}{l} St_{кат}, St_{тл}, St_{фп}, St_{ат}, St_{уст}, St_{сэ}, \\ St_{фо}, St_{пс}, St_{впо}, St_{упо}, St_{иф}, St_{бд}, \\ St_{ком}, St_{ри}, St_{сп}, St_p, St_ф, St_{вз}, \\ St_{субд}, St_{усл}, St_{вусл}, St_{хусл}, St_{аб} \end{array} \right\rangle.$$

Проведенная стратификация не является исчерпывающей и завершенной, ее можно считать открытой, т. е. в зависимости от рассматриваемой конкретной инфокоммуникационной сети, от ее модернизации и развития уровни могут добавляться, изменяться или устраняться.

Из представленных уровней явно следует, что современная инфокоммуникационная сеть является многоуровневым и сложным объектом, описать который без использования системного анализа представляется довольно затруднительно. Именно системный анализ, в данном случае, убедительно обосновывает и раскрывает необходимость приоритета применения системного подхода.

Следующим представлением инфокоммуникационной сети являются уровни-слои. Они отражают отношение исследователя к данному объекту, фиксируя способы познания его характеристик, глубину проникновения в сущность изучаемого объекта. В качестве типового примера можно назвать детерминистический и вероятностный слои представления одного и того же явления.

Зачастую слоями называют структурные компоненты системы, выделенные по временному признаку или по типу решаемых задач. С этих позиций для инфокоммуникационной сети можно выделить следующие слои (рис. 3): прогнозирование, проектирование (планирование) и управление.

Как и в предыдущих случаях, логично этот уровень представить следующим выражением:

$$Y_{Сл} = \langle Sl_{пр}, Sl_{пл}, Sl_{упр} \rangle,$$

где $Sl_{пр}$ — слой прогнозирования, $Sl_{пл}$ — слой проектирования (планирования), $Sl_{упр}$ — слой управления.

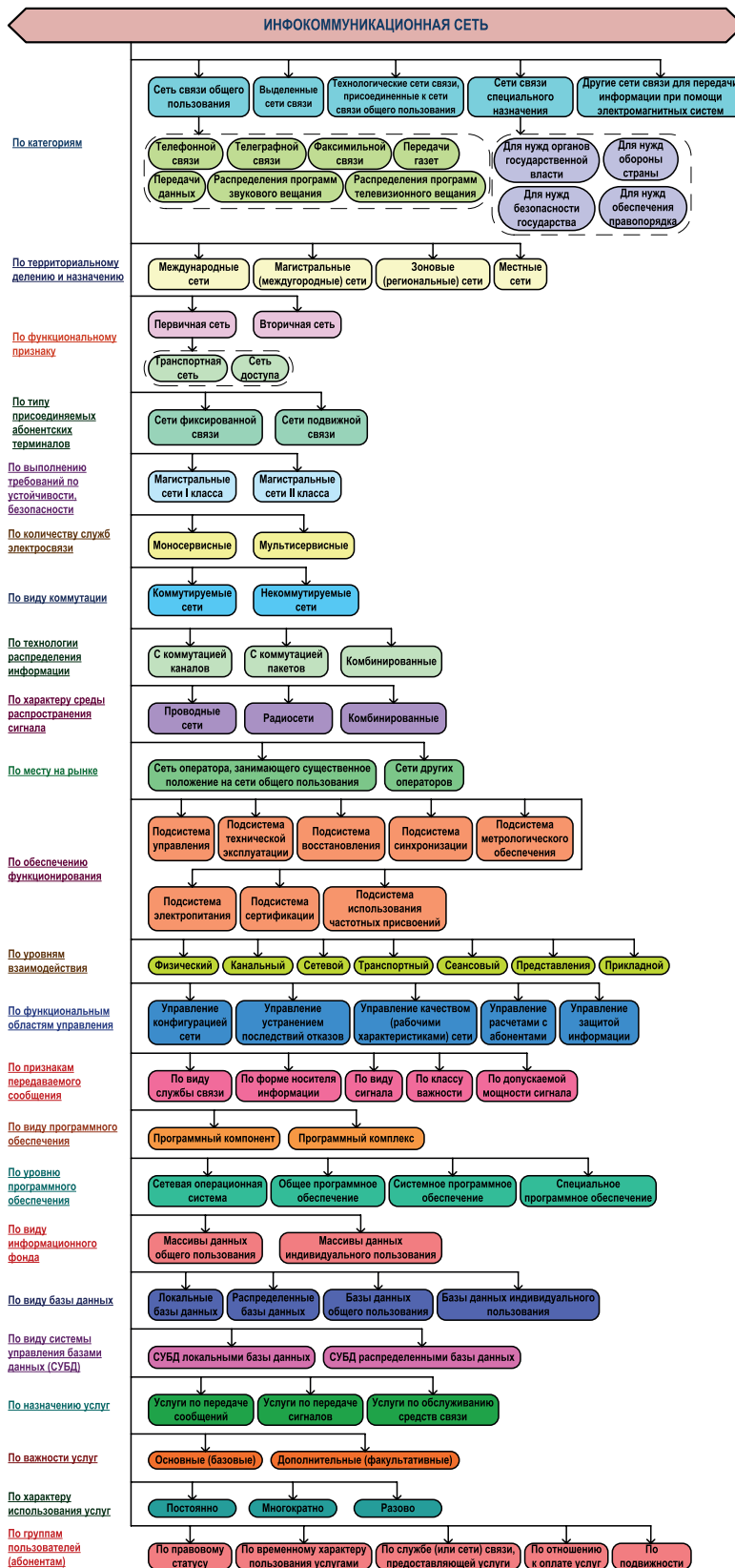


Рис. 2. Стратификация инфокоммуникационной сети по уровням

Прогнозирование включает в себя комплекс методов, раскрывающих и отражающих результаты построения и реализации причинно-следственных связей компонентов инфокоммуникационной сети и происходящих в ней процессов в обозримой, или даже необходимой и возможной, перспективе.

В основе проектирования (планирования), а также модернизации инфокоммуникационной сети находится стратегическая целевая установка — удовлетворение потребностей абонентов (пользователей) в услугах с заданным качеством.

Наиболее полно и всесторонне такое прагматическое, прикладное значение инфокоммуникационной сети проявляется в ходе ее функционирования и управление ею. При этом под управлением понимается его самое широкое толкование, включающее целенаправленное воздействие на систему и ее элементы в процессе их функционирования и модернизации.

Уровни-слои имеют между собой не только прямые, но и обратные связи, которые позволяют судить о полноте и завершенности решения задач по созданию, функционированию и развитию инфокоммуникационной сети.

Четвертым значением понятия «уровень» является оценочная характеристика анализируемого объекта или явления. В этом случае, как правило, оперируют двумя важными характеристиками: качеством предоставления услуг и эффективностью функционирования инфокоммуникационной сети.

В общем случае, применительно к ИКС под качеством понимается совокупность существенных свойств объекта, отличающих его от других объектов и характеризующих его соответствие назначению.

В свою очередь, эффективность — комплексное свойство целенаправленного процесса функционирования инфокоммуникационной сети, характеризующее его приспособленность к достижению цели, реализуемой инфокоммуникационной сетью.

Качество услуг, предоставляемых инфокоммуникационной сетью определяется процессом ее целевого функционирования. С этих позиций наиболее объективным является оценивание качества услуг инфокоммуникационной сети по эффективности ее целевого применения. Этот подход проиллюстрирован рис. 4, где в левой ча-

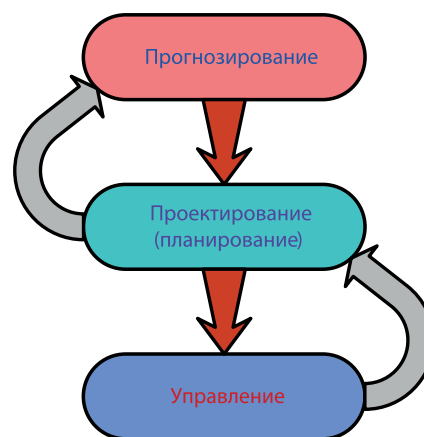


Рис. 3. Уровни-слои инфокоммуникационной сети по временному признаку и по типу решаемых задач

сти представлены объекты оценивания, а в правой — их существенные свойства. Пунктирной стрелкой показана обратная связь, обеспечивающая изменение требований к ИКС и процессу ее функционирования при трансформации требований к инфокоммуникационным услугам, а также при расширении их перечня.

Оценочную характеристику функционирования инфокоммуникационной сети запишем в виде:

$$Y_0 = \langle O_{\text{икс}}, O_{\text{пфц}}, O_y \rangle,$$

где $O_{\text{икс}}$ — оценочная характеристика инфокоммуникационной сети, $O_{\text{пфц}}$ — оценочная характеристика процесса функционирования инфокоммуникационной сети, O_y — оценочная характеристика услуги, предоставляемой инфокоммуникационной сетью.

2. Целостность

Следующим содержательным признаком системы является целостность. Она исторически выступает родовым признаком системы.

Формальное содержание этого признака заключается в следующем.

Объект, состоящий из нескольких выделенных частей, обладает целостностью, если [1, 2]:

а) в нем в результате взаимодействия частей образуется новое качество (общесистемное свойство), отсутствующее у частей;

б) каждая составная часть приобретает иные качества (системные свойства компонентов) по сравнению с качествами, присущими этим же частям вне данного объекта.

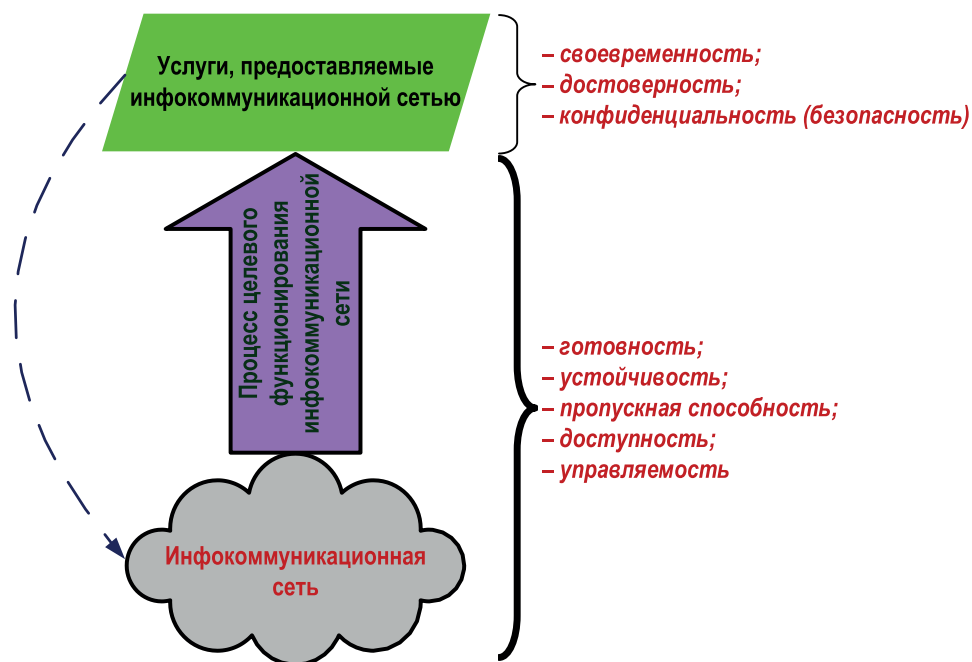


Рис. 4. Оценочный уровень представления инфокоммуникационной сети

Примером признака целостности является инфокоммуникационная сеть, позволяющая обмениваться различными видами связи абонентам (пользователям), территориально разнесенным на десятки, сотни или тысячи километров. Ни один взятый отдельно элемент сети не способен самостоятельно обеспечить такой обмен. Кроме того, одной из сред распространения радиосигнала в инфокоммуникационной сети служит воздух, который в других системах может использоваться и используется в другом качестве.

Таким образом, признак целостности отражает особенности не всякого, а определенного вида целого, такого, где достаточно выражено единство и где обязательно имеются выделенные части, влияющие друг на друга. Простое механическое вычленение какого-либо объекта из такого целого приводит к тому, что в итоге получается другой объект.

С целостностью тесно связано понятие эмерджентности — возникновения новых связей и свойств при объединении элементов в подсистемы, подсистем в систему. Сущность этого явления заключена в накоплении и усилении одних свойств компонентов одновременно с нивелированием, ослаблением и скрыванием других свойств за счет их взаимодействия.

3. Связанность

Третьим, содержательным признаком системы, является связанность. Связанность для инфокоммуникационной сети следует рассматривать как признак, свидетельствующий о том, что целостные свойства сети и особые свойства ее частей формируются за счет межкомпонентных (внутриуровневых и межуровневых) отношений, связей и взаимодействий.

При анализе систем, помимо внутренней связанности, выделяют внешнюю связанность, то есть отношения, связи и взаимодействия изучаемой системы с окружающей ее средой. Среды в свою очередь рассматриваются как система высшего эшелона, то есть в качестве надсистемы по отношению к данной системе. В такой трактовке среды-надсистемы важно учитывать, что она представляет собой некоторое множество систем, каждая из которых по-своему взаимодействует с системой — объектом анализа.

Выделяют четыре ситуативных класса такого взаимодействия [1]:

- содействующее;
- нейтральное;
- противодействующее;
- смешанное.

Содействующей выступает среда, которая оказывает положительное влияние на функционирование и развитие системы, способствуя достижению ее целей и повышению эффективности функционирования.

Противодействующая среда, наоборот, подавляет функционирование и снижает эффективность функционирования системы, препятствуя достижению целей.

В случае нейтральности среда не оказывает непосредственного воздействия на систему, но и тогда необходимо учитывать ее присутствие, так как нейтральность есть неустойчивое состояние, в котором формируются условия, обуславливающие переходы к содействию или противодействию.

В случае инфокоммуникационной сети применима смешанная среда, для которой характерны все перечисленные выше варианты ее влияния на систему.

Учет влияния среды на функционирование изучаемой системы является необходимым компонентом любого системного исследования. В теории системного анализа эта проблема считается не формализуемой в том смысле, что не существует универсальных методов учета факторов влияния среды применительно к любой системе.

Все возможные воздействия среды на изучаемую систему должны быть типизированы, сведены в некоторые группы по признаку общности ожидаемого эффекта влияния на систему. Для этого весьма полезно использовать принцип, предложенный А.Д. Армандом [2], суть которого заключается в разделении всех воздействий среды на три класса: константы, существенные и шумы. Константой по отношению к данной системе выступает воздействие, для которого выполняется соотношение:

$$\Delta X_B / \Delta t \ll \Delta X_A / \Delta t,$$

где ΔX_A , ΔX_B — существенное приращение параметра, характеризующего системный процесс и воздействие среды соответственно, Δt — характерное время, имеющее порядок среднего времени существования системы.

Воздействие среды, для которого

$$\Delta X_B / \Delta t \approx \Delta X_A / \Delta t,$$

следует рассматривать как существенно влияющее на функционирование изучаемой системы.

И, наконец, то воздействие среды, для которого

$$\Delta X_B / \Delta t \gg \Delta X_A / \Delta t,$$

выполняет для системы роль «шума».

4. Неаддитивность

Заключительный признак системы — неаддитивность проявляется в том, что свойства изучаемого объекта невозможно свести к свойствам его частей, а также вывести лишь из них. Этот признак в несколько иной интерпретации можно выразить формулой: если изучаемый объект представляется в данном исследовании как система, то при любом способе разделения такого объекта на части невозможно выявить его целостные свойства.

Неаддитивность является следствием так называемого синергетического эффекта, физический смысл которого можно пояснить следующим образом. В процессе взаимодействия объектов, объединенных в систему, происходит их самосинхронизация: под воздействием либо внешних, либо внутренних факторов они начинают вести себя таким образом, что поведение каждого отдельного компонента приобретает согласованную направленность. Их действия становятся когерентными, или кооперативными. Результирующий эффект такого когерентно-коллективного действия получается иным, нежели простая сумма эффектов действий каждого компонента в отдельности. Так, если речь идет о синергетическом «сложении» мощностей, то когерентность выражается в том, что система начинает черпать дополнительную энергию из окружающего пространства и концентрировать ее в нужном направлении. В результате суммарная сила действия превышает сумму действий частей.

Неаддитивный характер взаимодействия компонентов систем порождает известный парадокс: не расчленив систему на части, очень трудно ее изучать, но, обособив составные части, можно легко потерять суть целого и неправильно установить свойства частей. Выход из такого положения, который предлагает теория системного анализа, состоит в совместном применении принципов «от целого к частям» и «от частей к целому», то есть в организации процесса исследований в виде поэтапного разукрупнения изучаемого объекта на эшелоны,

страты и слои с одновременным установлением связей между ними за счет организации итеративных циклов.

Заключение

Таким образом, рассматриваемый объект, инфокоммуникационная сеть, показан как система, так как он идентифицируется по признакам расчлененности, целостности, связанности и неаддитивности, а само исследование относится к классу системных, так как оно процедурно строится без нарушения положений этих признаков.

Представленный подход системного описания инфокоммуникационной сети позволяет:

в теоретической области исследования инфокоммуникаций полно и всесторонне формулировать цель, задачи исследования, описывать и моделировать объекты и процессы, обоснованно вводить ограничения и допущения;

в практической, производственной области может выступать основой, базой для проектирования (планирования), как сети в целом, так и отдельных ее элементов.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Новосельцев В. И.** и др. Теоретические основы системного анализа. Под ред. В. И. Новосельцева. — М.: Майор, 2006. — 592 с.

2. **Петухов Г. Б., Якунин В. И.** Методологические основы внешнего проектирования целенаправленных процессов и целеустремленных систем. — М.: АСТ, 2006. — 504 с.

3. Закон РФ № 126-ФЗ «О связи» от 07.07.2003 (редакция от 07.06.2017).

4. **Булгак В. Б.** и др. Концептуально-целевые основы развития и общие организационно-технические положения. Руководящий документ. Книга 1. — М.: ЦНТИ «Информсвязь», 1996. — 247 с.

С. М. Одоевский

Доктор технических наук, профессор,
Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного

Д. В. Салюк

Кандидат технических наук, доцент, ПАО «Интелтех»

В. В. Степаненко

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

ОБОБЩЕННАЯ ТОПОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ИНФОКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ ПОДВОДНОЙ СВЯЗИ

АННОТАЦИЯ. Рассматривается обобщенная топологическая модель инфокоммуникационной сети подводной связи, основанная на современных принципах построения и моделирования наземных инфокоммуникационных сетей, но с учетом специфики физической среды распространения сигналов под водой, а также особенностей размещения и перемещения объектов специализированной информационной системы управления подводными аппаратами.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: инфокоммуникационная сеть, сетевой элемент, подводная связь, автономный обитаемый подводный аппарат, топология сети.

Под моделированием некоторых исследуемых систем обычно понимается их имитация другими, как правило, более простыми системами, обладающими частью аналогичных свойств, существенными с точки зрения целей исследования. Конечной целью исследования данной статьи является получение количественных оценок для обоснования предложений по созданию инфокоммуникационной сети подводной связи (ИКС ПС). Учитывая большую сложность рассматриваемого объекта моделирования ограничимся его имитацией с помощью обобщенной математической модели, отражающей основные функциональные зависимости между наиболее существенными внутренними и внешними функциональными характеристиками (ФХ).

К внутренним ФХ будем относить конкретные сетевые технологии (технологии построения сети), определяющие правила, по которым работает сеть в течение заданного (внешней системой управления) времени, расходуя со-

ответствующие данным технологиям ресурсы и выполняя текущие требования пользователей (абонентов) по связи в определенных (как правило, мешающих) условиях воздействия внешней среды.

К внешним ФХ будем относить показатели качества предоставляемых телекоммуникационных услуг для некоторой внешней информационной системы управления (ИСУ) подводными аппаратами, а также параметры внешних условий и потребляемых ресурсов.

Взаимосвязь соответствующих внешних и внутренних функциональных характеристик моделируемой ИКС ПС можно образно представить в виде символической треугольной модели (рис. 1) [1].

В роли внутренних анализируемых (оптимизируемых) ФХ ИКС ПС, отражающих, используемые (рекомендуемые) сетевые технологии, можно выделить характеристики функциональной архитектуры и физической структуры рассматриваемой сети.

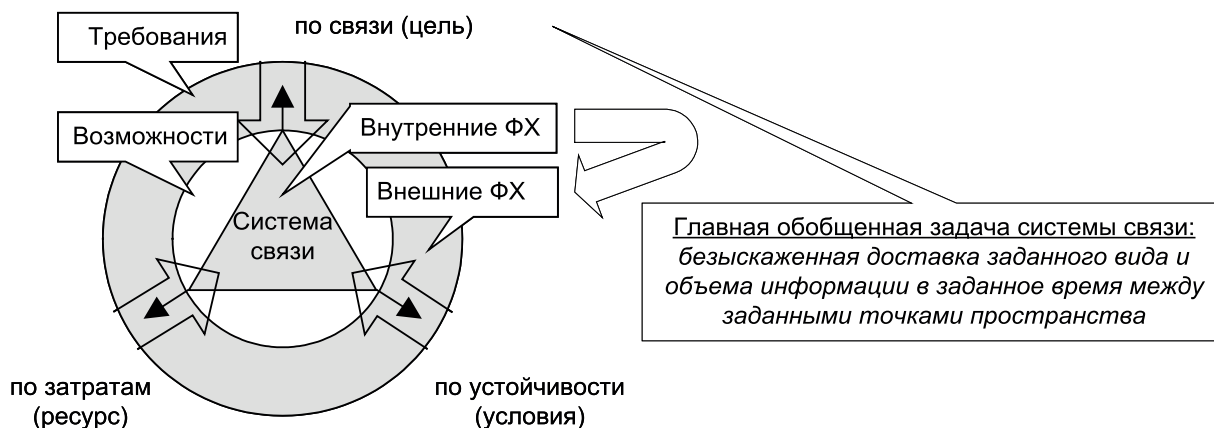


Рис. 1. Обобщенное функциональное представление ИКС ПС

Составной частью предлагаемой модели ИКС ПС является ее функциональная архитектура, соответствующая архитектуре современных наземных ИКС, но с отличительными особенностями верхнего прикладного уровня, взаимодействующего с прикладными процессами в объектах ИСУ, а также нижнего физического уровня, взаимодействующего с физической средой (физическими каналами) подводной связи.

Полноценная обобщенная модель сети, чувствительная к основным управляемым внутренним функциональным характеристикам сети, представляющей собой совокупность взаимосвязанных узлов и линий, должна включать как минимум три модели:

топологическую модель (характеризующую пространственную структуру сети),

энергетическую модель (отражающую характеристики линий между узлами сети),

маршрутную модель (отражающую характеристики узлов коммутации/ретрансляции и многоинтервальных линий).

В настоящей статье основное внимание уделяется предлагаемой топологической модели, а на другие две (известные) модели приводятся ссылки (в библиографии).

Учитывая сходство сетей информационного обмена между, например, автономными необитаемыми подводными аппаратами (АНПА) отдельных групп, с одной стороны, и отдельных наземных беспроводных локальных сетей, с другой стороны, а также сходство сети, связывающей АНПА нескольких групп друг с другом, с удаленными «носителями» (подво-

дными лодками — ПЛ, надводными кораблями — НК) и с береговыми объектами связи (БОС), с одной стороны, и транспортной сетью (или транспортной составляющей сети доступа) (или транспортной составляющей сети доступа), связывающей множество локальных сетей между собой, с другой стороны, в качестве топологической модели физической структуры ИКС ПС можно использовать обобщенную топологическую модель многоступенчатой сети беспроводного абонентского доступа (СБАД), описанную в [2].

Топология современных СБАД в общем случае описывается довольно сложной структурой, в которой можно выделить несколько вложенных уровней, звеньев или ступеней, выполняющих различные (взаимно дополняющие или дублирующие) функции доступа сетевых элементов друг к другу и транспортировки (передачи) информации как напрямую, так и через промежуточные сетевые элементы, причем как по отдельным, так и по множеству маршрутов как для резервирования (с целью повышения надежности) так и для увеличения пропускной способности (скорости передачи).

Будем считать, что все вопросы согласования протоколов взаимодействия отдельных сетевых элементов и подсетей ИКС ПС (как и обычных СБАД) решаются (или могут быть решены) на каждой ступени (уровне) стандартными аппаратно-программными способами, соответствующими используемым технологиям, и в рассматриваемой модели не затрагиваются.

Основное же внимание будем уделять физической реализуемости соединений сетевых

элементов ИКС ПС по физическим каналам с ограниченной пропускной способностью, зависящей от оптимизируемого пространственного расположения данных элементов и источников помех, а также от общих частотно-энергетических ресурсов, распределяемых в соответствии с оптимизируемыми технологиями каналообразования и коммутации на основании текущих потребностей информационного обмена между объектами ИСУ.

Обобщая вышесказанное, предлагается следующее формализованное представление топологической модели многоступенчатой ИКС ПС (рис. 2).

Вся сеть состоит из некоторого множества сетевых элементов $NE_i, i = 1, \dots, N_e$.

Каждый сетевой элемент может принадлежать к одному из следующих трех типов сетевых элементов:

Оконечные NE_o — абонентские (NE_{oa}) или пограничные (NE_{on}) сетевые устройства (на границе зоны ответственности ИКС ПС), являющиеся источниками и потребителями полезной трафиковой нагрузки.

Узловые NE_u — промежуточные сетевые устройства, которые могут не только коммутировать и ретранслировать информационный трафик, но и добавлять служебную нагрузку.

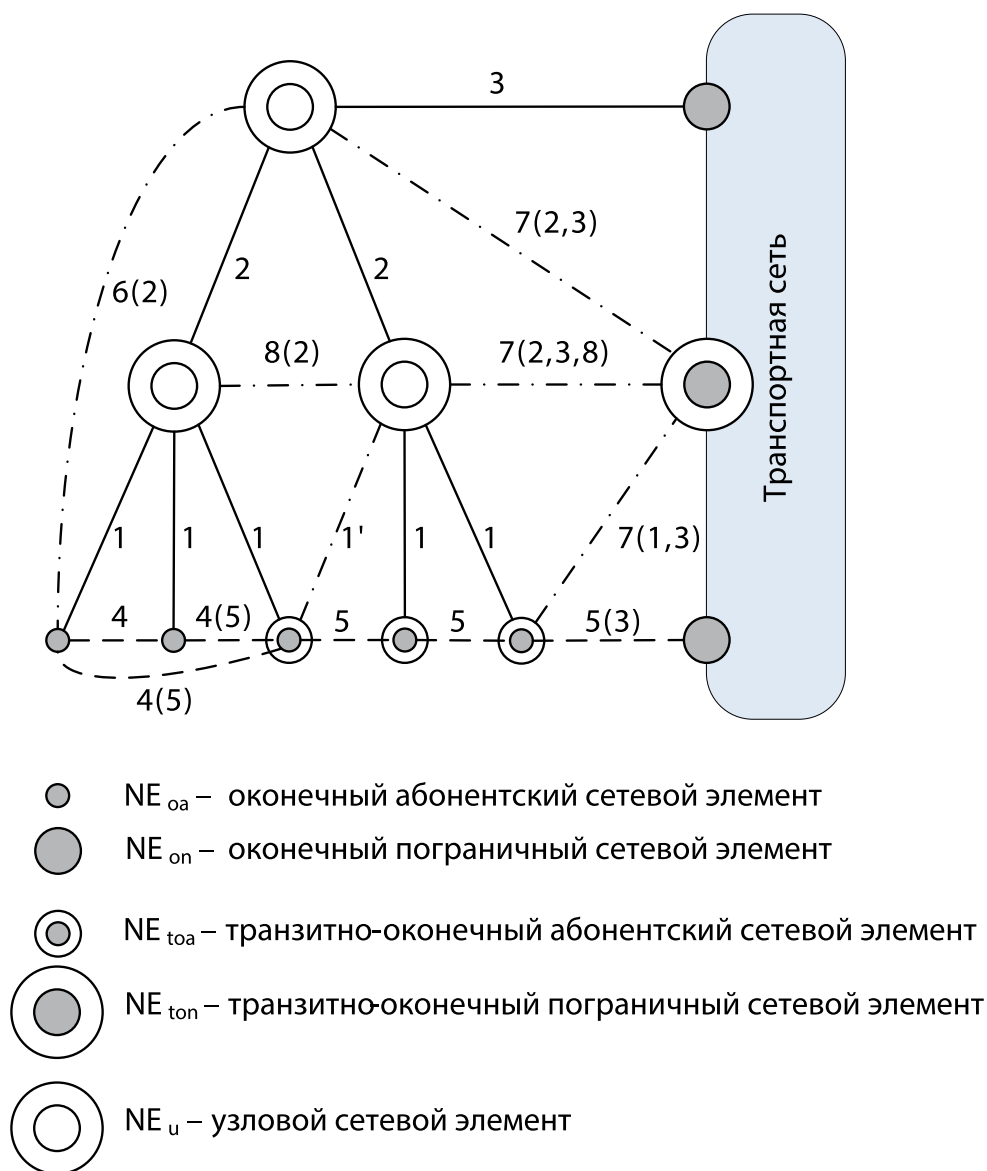


Рис. 2. Графическое представление топологической модели многоступенчатой ИКС ПС

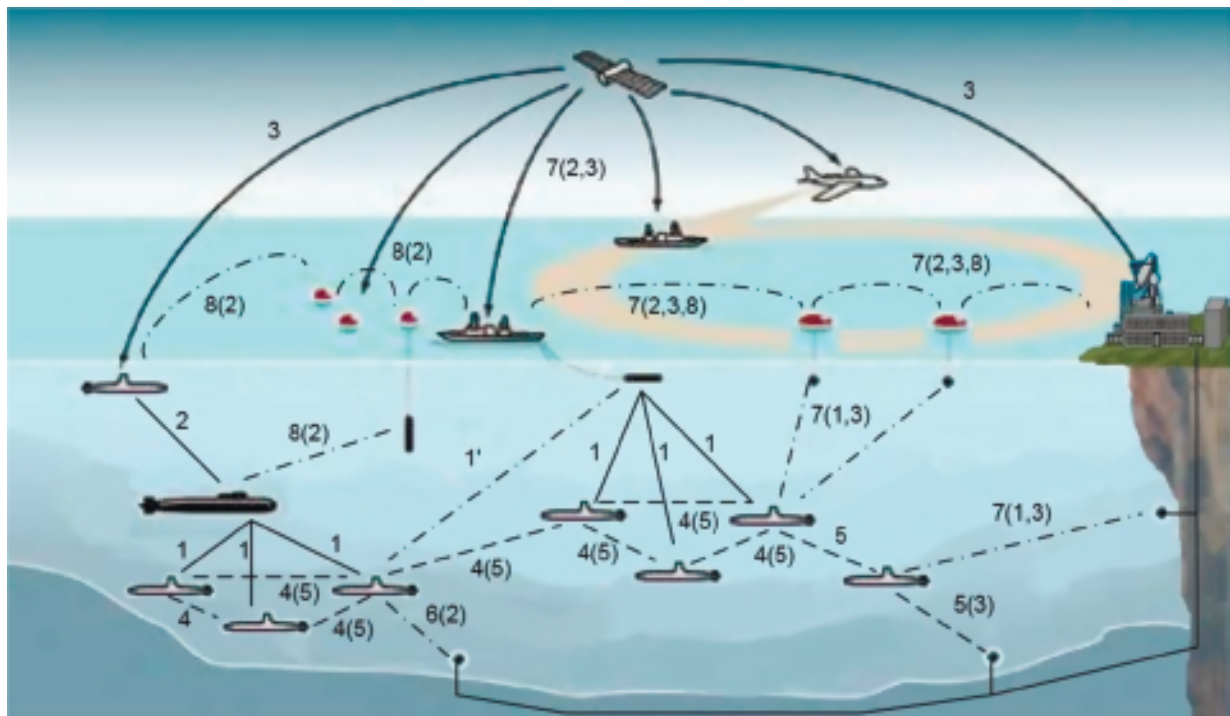


Рис. 3. Вариант графического представления топологической модели многоступенчатой ИКС ПС ИСУ группами АНПА

Транзитно-оконечные NE_{to} — абонентские (NE_{toa}) или пограничные (NE_{ton}) сетевые устройства, которые могут генерировать трафик и одновременно выполнять функции узловых устройств.

Каждый из сетевых элементов NE_i поддерживает $N_{i,l} > 0$ интерфейсных технологий $TH_{i,l}$, $l = 1, \dots, N_{i,l}$, взаимодействия с другими сетевыми элементами из множества всех N_l технологий TH_l , $l = 1, \dots, N_l$, которые используются в ИКС ПС.

Будем полагать, что каждой различной технологии TH_l , $l = 1, \dots, N_l$ взаимодействия сетевых элементов соответствует свой уровень физической архитектуры многоступенчатой ИКС ПС.

В общем случае отдельные технологии взаимодействия могут быть специализированными для разных пар типов устройств. Например, технологии взаимодействия оконечных сетевых элементов между собой (как и узловых — между собой), как правило, существенно отличаются от технологий взаимодействия оконечных и узловых сетевых элементов. В других случаях отличия технологий взаимодействия могут быть менее принципиальными, что позволяет

считать их одинаковыми даже при взаимодействии сетевых элементов разного типа (см. на рис. 2 условные номера технологий в скобках).

Сплошными линиями с номерами 1, 2, 3 на рис. 2 отмечены технологии взаимодействия элементов типовой трехступенчатой ИКС ПС, обеспечивающей доступ всех абонентских устройств через узловые элементы (базовые станции) друг к другу и к пограничному устройству на границе транспортной сети.

Пунктирными линиями с номерами 4, 5 обозначены альтернативные технологии взаимодействия элементов двухступенчатой ИКС ПС, обеспечивающей доступ абонентских устройств друг к другу и к пограничному устройству напрямую или транзитом без использования базовых станций.

Штрихпунктирными линиями с номерами 6, 7, 8 обозначены дополнительные технологии взаимодействия элементов многоступенчатой ИКС ПС, позволяющие резервировать или повышать пропускную способность отдельных участков сети.

Совпадение хотя бы одной пары поддерживаемых технологий взаимодействия: $\exists, l, k \rightarrow TH_{i,l} = TH_{j,k}$, $l = 1, \dots, N_{i,l}$, $k = 1, \dots, N_{j,k}$, у двух

разных сетевых элементов NE_i и NE_j , $i \neq j$, $i, j = 1, \dots, N_e$, является основным логическим признаком потенциальной возможности соединения их между собой для взаимодействия и передачи информации.

На рис. 3 приведен другой вариант представления топологической модели многоступенчатой ИКС ПС (изображенной на рис. 2) в подводном пространстве, в пределах которого находятся объектовые (локальные) сети АНПА отдельных групп и сеть (абонентского) доступа АНПА к внешней транспортной сети, элементы которой находятся на Земле, над водой и в воздушном (а также околоземном) пространстве, а пограничные элементы, соответственно, находятся на границах раздела подводной и воздушной сред, а также подводной и наземной (в т. ч., придонной) сред. Нумерация линий ($1 \dots N_l = 8$) на данном рисунке соответствует нумерации типовых технологий взаимодействия элементов многоступенчатой ИКС ПС на рис. 2, расшифровка которых была приведена выше.

Для обеспечения беспроводной связи между объектами ИКС ПС должны выполняться условия энергетической доступности (между теми сетевыми элементами, между которыми должен быть обеспечен информационный обмен) и энергетической недоступности или совместимости (между теми сетевыми элементами, которые не должны мешать друг другу

и между которыми не должно быть информационного обмена). К последнему условию для ИКС ПС специального назначения можно также свести условия выполнения требований к помехозащищенности и разведзащищенности сетевых элементов по отношению к источникам преднамеренных помех и разведывательным приемникам противника.

Для контроля, учета и оценки указанных выше условий энергетической доступности и/или совместимости необходимо иметь соответствующую энергетическую модель линий подводной связи. Поскольку в качестве физических каналов связи с АНПА в настоящее время используются в основном гидроакустические каналы, то в качестве энергетической модели можно использовать соответствующую модель, описанную, например, в [3]

Как следует из описанной выше топологической модели ИКС ПС, лишь в редких случаях для обмена информацией между объектами ИСУ группами АНПА будет достаточно одноинтервальных линий (маршрутов) без ретрансляций, для оценки качества связи в которых можно ограничиться использованием только энергетической модели. В общем случае для оценки качества связи в многоинтервальных линиях необходимо иметь еще и маршрутную модель ИКС ПС. Примером подобной маршрутной модели может служить модель, описанная в [4].

ЛИТЕРАТУРА

1. Новые информационные и сетевые технологии в системах управления военного назначения. Часть 1. Новые сетевые технологии в системах военного назначения / Под ред. С. М. Одоевского. — СПб.: ВАС, 2010. — 432с.
2. Одоевский С. М., Калюка В. И. Адаптивно-игровое моделирование военных сетей беспроводного абонентского доступа / Под. ред. д-ра техн. наук, проф. А. М. Чуднова. — СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2017. — 342с.
3. Макаров А. И., Дворников В. Д., Конопелько В. К. Передача информации в гидроакустическом канале // Сборник докладов БГУИР. — Минск: БГУИР, 2004. — № 2. — С. 103–118.
4. Абаренов С. П., Арсентьев В. Г., Криволапов Г. И. Овыборечастотныхипространственныхпараметровгидроакустическихинформационно-управляющихсетейнаосновеобобщенныхэнергетическихпоказателей//Фундаментальнаяиприкладнаягидрофизика. — Новосибирск: СибГУТИ, 2014. — Т. 7. — № 2. — С. 27–35.

А. Н. Путилин

Доктор технических наук, профессор главный научный сотрудник ПАО «Интелтех»

В. С. Шантала

ИЕРАРХИЧЕСКОЕ МАНИПУЛЯЦИОННОЕ КОДИРОВАНИЕ ДЛЯ СИГНАЛЬНО-КОДОВОЙ КОНСТРУКЦИИ НА ОСНОВЕ ТРЕХМЕРНОЙ СИМПЛЕКС-РЕШЕТКИ

Предложена к рассмотрению сигнально — кодовая конструкция (СКК) на основе трёхмерной симплекс решётки (*simplex trellis*) — ST-3. В соответствии с техникой модуляции [1, 2] n независимых первичных потоков k –значных символов (при $k = 2$ — бит) $\dots, A_{2n+1}, A_{n+1}, A_1; \dots, A_{2n+2}, A_{n+2}, A_2; \dots, A_{3n}, A_{2n}, A_n$ объединяется в поток блоков по n символов: $\dots, (A_{3n}, \dots, A_{2n+2}, A_{2n+1}), (A_{2n}, \dots, A_{n+2}, A_{n+1}), (A_n, \dots, A_2, A_1)$, где $A_i \in \{0, 1, \dots, k-1\}$, образуя символы блоков — ST- k^n . Каждый блок может принимать k^n значений. Ему в соответствие ставится скаляр, значение которого определяется иерархическим манипуляционным кодом для амплитудной манипуляции [3]. При иерархическом манипуляционном кодировании символам (битам) каждого из первичных потоков ставятся в соответствие сигналы таким образом, чтобы обеспечить различные вероятности ошибки на символ. Это позволяет при предоставлении различных услуг абонентам системы связи (передача речи, данных и пр.) предоставлять каналы минимально требуемого качества без снижения скорости передачи. Для этого сим-

волам иерархически высшего потока ставятся сигналы, между которыми имеется наибольшее евклидово расстояние. Следующему потоку в соответствие ставятся сигналы в окрестности выбранных точек и так далее.

Пример 1: $k = 2, n = 3$. Блок может принимать $2^3 = 8$ значений. Соответствие уровней амплитуд блокам представлено в табл. 1.

Как можно видеть из таблицы, манипуляционный код не инвариантен к перестановкам бит по разрядам группы и циклическом сдвигу значений блока по уровням амплитуд в отличие от манипуляционного кода, рассмотренного в [5].

Три блока образуют макроблок. В трёхмерном пространстве строится вектор, координаты которого являются найденными скалярами на осях x, y и z , соответственно в порядке следования блоков. Порядок следования осей — по часовой стрелке при расположении наблюдателя в области положительных значений по всем осям. Каждый макроблок может принимать $(k^n)^3$ значений. Область возможных значений этого вектора представляет собой куб.

Таблица 1

Оптимальный манипуляционный код для иерархической амплитудной модуляции

Поток № 1	0				1			
Поток № 2	0		1		0		1	
Поток № 3	0	1	0	1	0	1	0	1
Блок бит	000	100	010	110	001	101	011	111
Амплитуда	1	6/7	5/7	4/7	3/7	2/7	1/7	0

Пример 2: На рис. 1 представлены все $(2^2)^3 = 64$ значения векторов соответствующих макроблоку ST-3*2².

Главными диагоналями куба называются четыре отрезка, соединяющие пары наиболее удаленных вершин. Обозначим номерами вершины грани куба, находящейся на плоскости XY в порядке следования по часовой стрелке от вершины, находящейся в начале координат. Исходящие из них главные диагонали будем обозначать теми же номерами.

Определим четыре двумерные проекции вектора на плоскости, перпендикулярные главным диагоналям куба при расположении наблюдателя на конце главной диагонали, не принадлежащем плоскости XY. Каждый вектор проекции определяет собой один каналный символ, то есть элементарную посылку сигнала, передаваемую в канал. Проекция определяют её в комплексной форме.

Пример 3: На рис. 2 приведены четыре проекции всех возможных значений вектора макроблока ST-3*2² на плоскости, перпендикулярные главным диагоналям. Начало координат смещено в центр куба, его ребро

нормировано к единице. Значения вектора макроблока пронумерованы и обозначены синим/красным цветом для различных проекций. Проекции значений векторов осей X и Y представляют собой синфазную и квадратурную составляющую формируемого сигнала. Все значения вектора макроблока, расположенные в направлении главной диагонали на проекции сливаются в один вектор. Номера таких векторов показаны на рис. 2 справа от расположения точки. Так в центре на главной диагонали сливаются четыре точки. По мере удаления от центра — по три, по две и на краю проекции слияние отсутствует.

На рис. 2 указаны только номера сигнальных векторов, без указания значений соответствующих им блоков бит.

Демодуляция данной СКК состоит в максимально правдоподобном восстановлении положения трёхмерного вектора макроблока по принятым проекциям — каналным символам. Здесь возможно использование мягких решений, подразумевающее оценку по методу максимального правдоподобия на приёме весов различных значений трёх

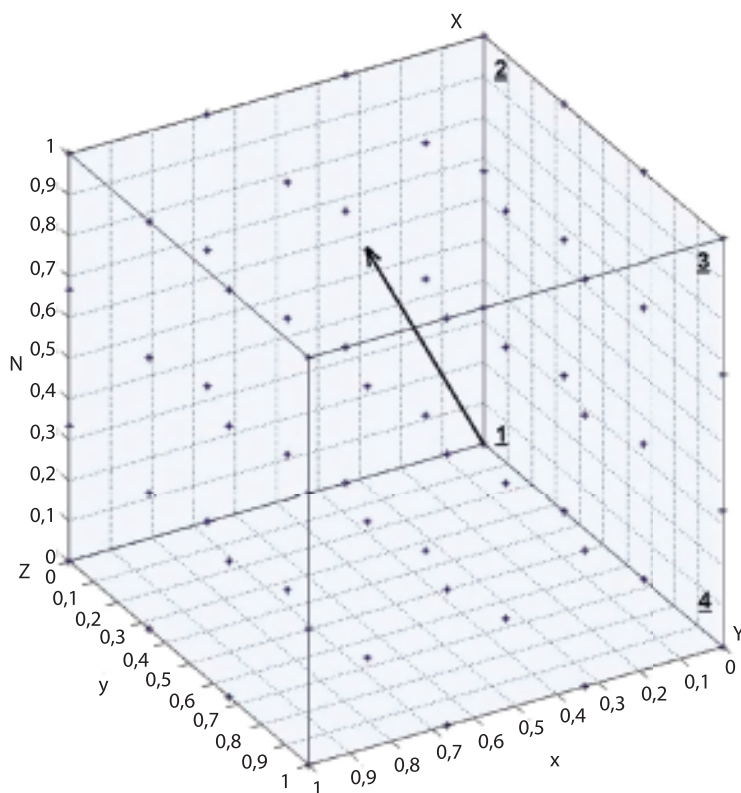


Рис. 1. Значения векторов, соответствующих макроблоку ST-3*2²

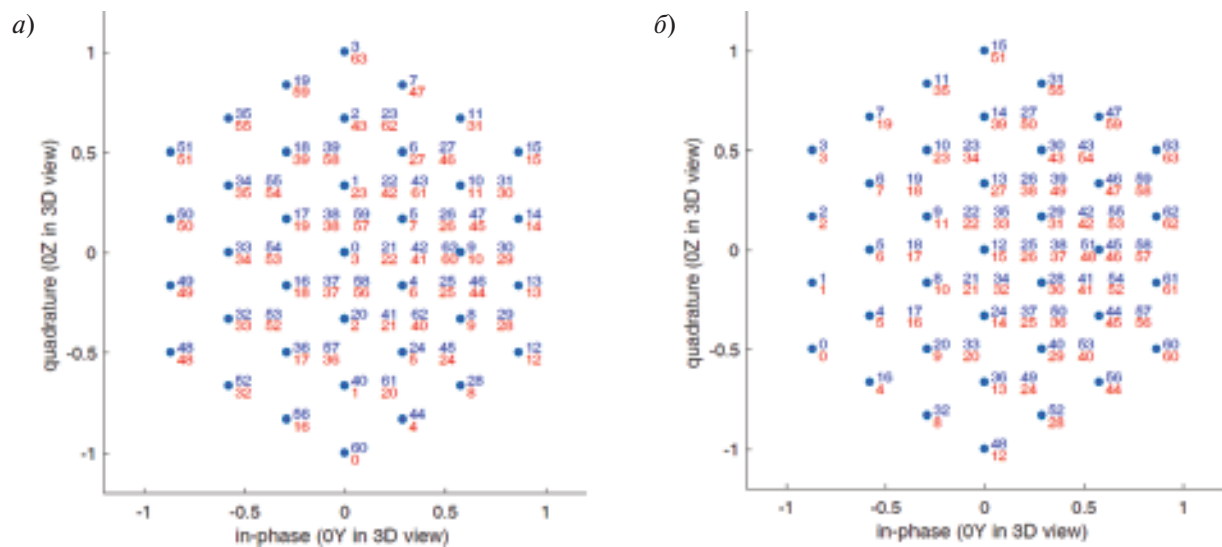


Рис. 2 Проекция вектора макроблока $ST-3*2^2$ на плоскости, перпендикулярные главным диагоналям, а) первая и вторая, б) третья и четвёртая

скаляров, составляющих вектор макроблока. В силу свойств симплекса для каждого скаляра (блока) эта оценка реализуется независимо, что является предпосылкой обеспечения алгоритму демодуляции полиномиальной сложности и облегчает реализуемость демодулятора для произвольных размерностей рассматриваемой СКК. Задачу оценки положения вектора макроблока решить по двум проекциям минимально, но можно использовать также и три, и четыре канальных символа. Это будет эквивалентно использованию кода, корректирующего ошибки. В зависимости от числа используемых канальных символов СКК будем обозначать $ST-3*k^n-m$, где $m=\{2, 3, 4\}$. Скорость передачи на канальный символ определяется как $R=\log_2(k^n)/m=3n/m$. Положение канальных символов, относящихся к одному макроблоку определяет перемежитель (*mapper*) с заранее известным на приёме законом перемежения.

Пример 4: $ST-3*2^4-3$. В блоке 4 бита. В макроблоке — 12 бит. Скаляр может принимать 16 значений, вектор макроблока 4096 положений. В канал передаются три элементарных посылки (канальных символа). Скорость на канальный символ — 4 бита.

Изложенные выше правила определяют однозначное соответствие потока информационных символов потоку канальных символов (сигналов) и позволяют выполнить восста-

новление переданной информации на приёме. Предложенная СКК обладает рядом полезных свойств:

1. Реализация оптимального манипуляционного кодирования, обеспечивает высокую помехоустойчивость СКК.
2. Использование СКК самой плотной на плоскости гексагональной укладки разрешённых сигналов также обеспечивает высокую помехоустойчивость.
3. При равной вероятности использования векторов макроблока проекции с наибольшей вероятностью используют вектора с малой амплитудой, что обеспечивает высокую энергетическую эффективность СКК.
4. Изменение числа передаваемых в канал проекций позволяет без изменения структуры СКК регулировать её способность к корректной работе помех.

5. Структура алгоритмов формирования и приёма СКК позволяет использовать параллельные вычисления, что обеспечивает их реализуемость для высоких размерностей СКК.

Исследованы свойства некоторых СКК из семейства $ST-3$. На рис. 3 приведены положения 27 векторов СКК $ST-3*3^1-4$ с указанием положения главных диагоналей. На рис. 4 приведены положения 64 векторов СКК $ST-3*2^2$ без указания положения главных диагоналей. На рис. 3, 4 как и на рис. 2 начало координат смещено в центр куба, его ребро нормирова-

но к единице. На рис. 5 показаны евклидовы расстояния от вектора № 13 СКК ST-3*2²-4 до остальных 27 векторов. На рис. 6 показаны евклидовы расстояния от вектора № 13 СКК ST-3*2²-4 до остальных 63 векторов.

Выполнено имитационное моделирование функционирования системы связи с СКК на основе ST-3 с иерархическим манипуляционным кодированием в канале с аддитивным белым гауссовским шумом (АБГШ). Моделирование произведено с использованием пакета прикладных программ для решения задач технических вычислений MATLAB.

Рассмотрен следующий вариант алгоритма демодуляции: в трехмерном пространстве строятся параллельные главным диагоналям прямые, соответствующие положению принятых проекций (АФМ сигналов). В трехмерном пространстве находится точка одинаково удаленная от всех прямых. Находится ближайший к ней сигнал созвездия СКК. Получателю передается макроблок, соответствующий этому сигналу. Полученные зависимости вероятности ошибки на бит от отношения сигнал / шум для различных СКК представлены на рис. 7–9.

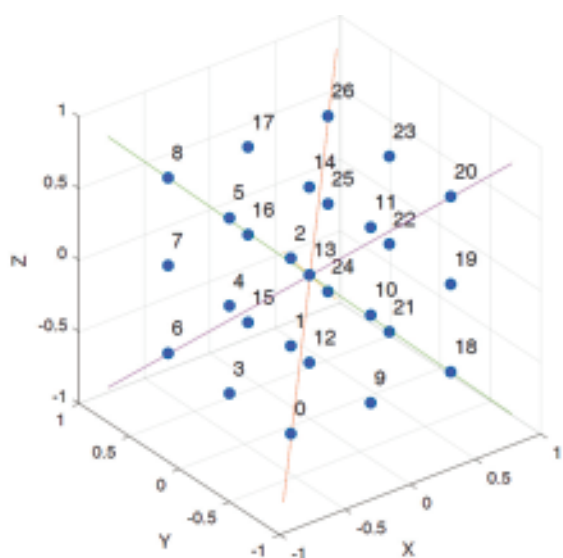


Рис. 3 СКК ST-3*3¹-4

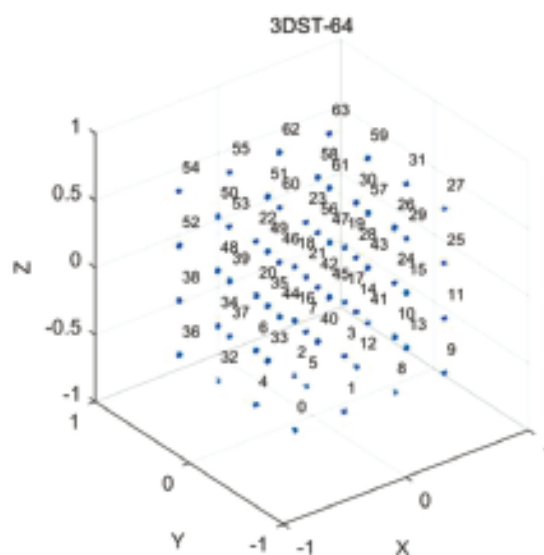


Рис. 4 СКК ST-3*2²-4

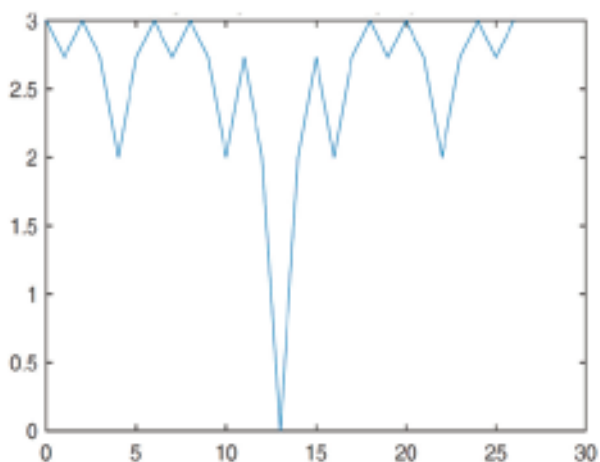


Рис. 5 Евклидовы расстояния от центрального вектора СКК ST-3*3¹-4 до остальных векторов

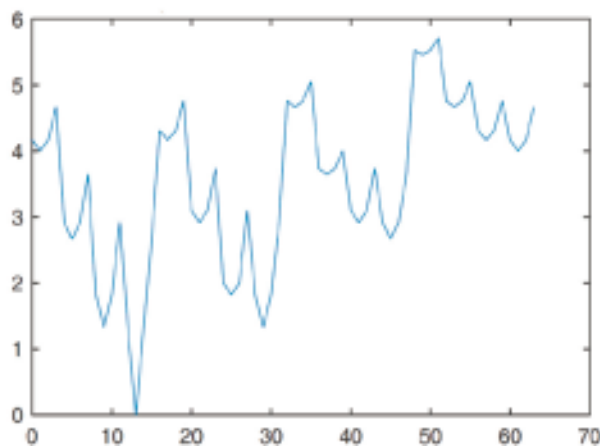


Рис. 6. Евклидовы расстояния от вектора СКК ST-3*2²-4 до остальных векторов

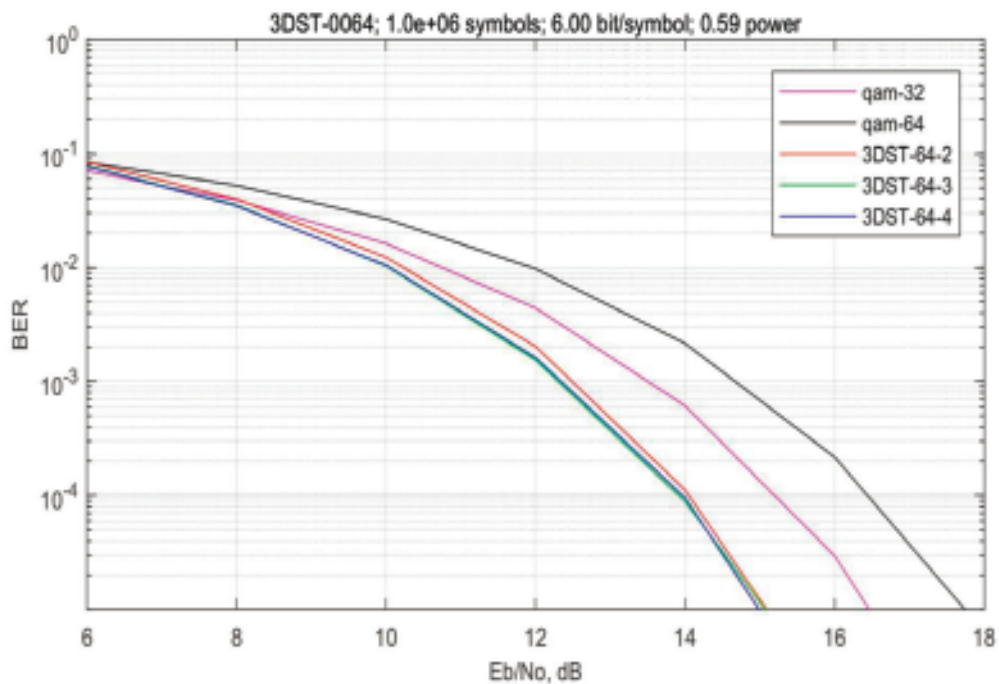


Рис. 7 Зависимость средней вероятности ошибки на бит от SNR без деления на иерархические потоки для ST-3*2²-2/3/4 (на рисунке обозначены как 3DST-64-2/3/4); КАМ-32/64

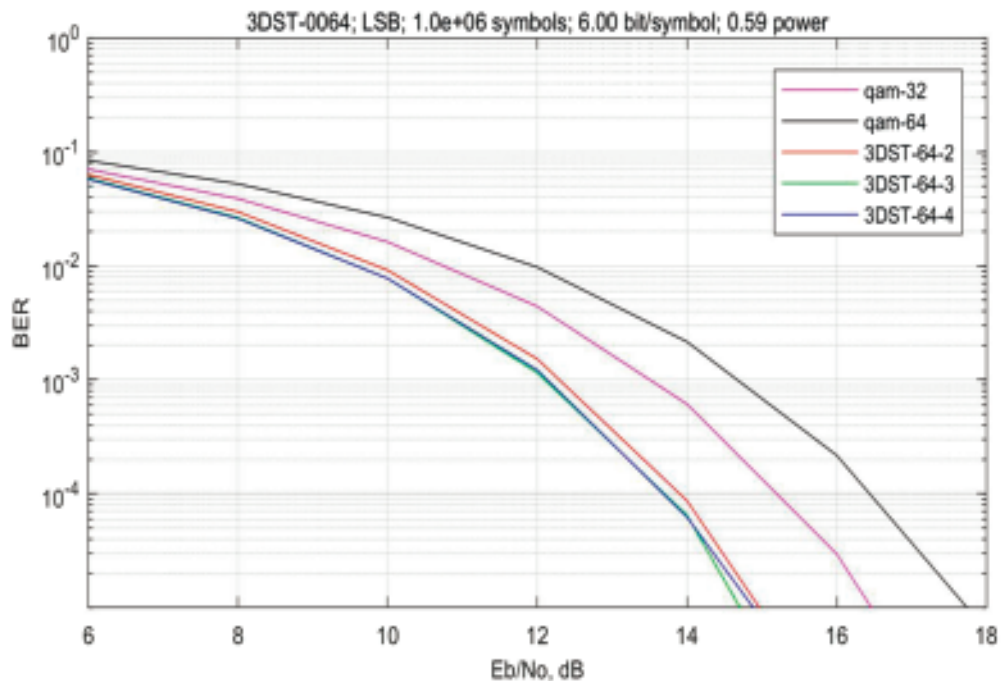


Рис. 8 Зависимость вероятности ошибки на бит от SNR для потока высшей иерархии для ST-3*2²-2/3/4; КАМ-32/64

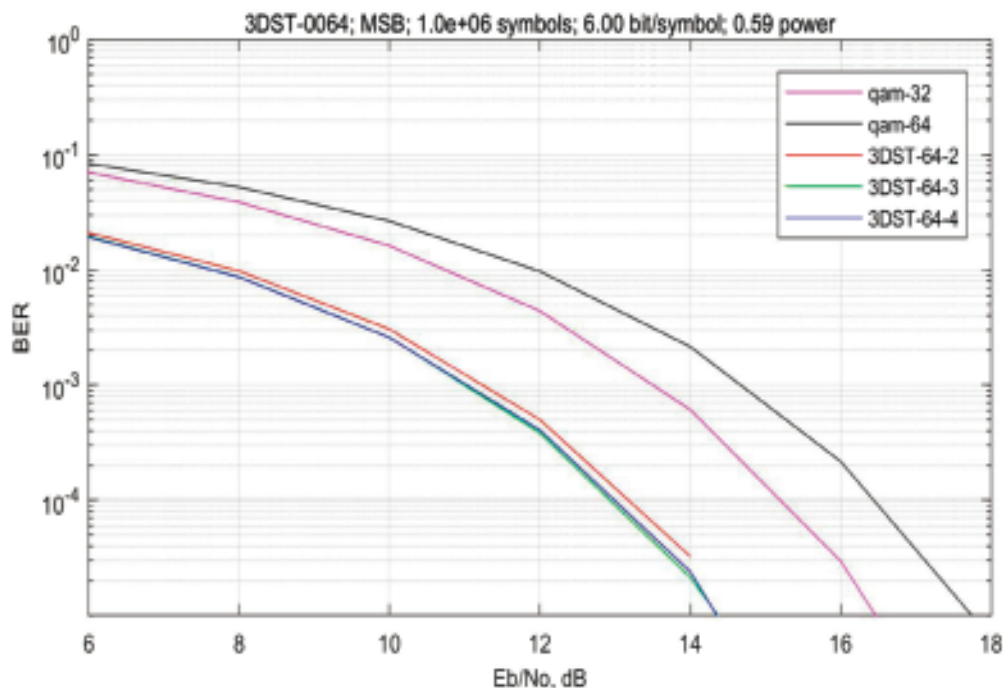


Рис. 9 Зависимость вероятности ошибки на бит от SNR для потока низшей иерархии для ST-3*2²-2/3/4; КАМ-32/64

Следует отметить, что скорость передачи, обеспечиваемая ST-3*2²-2 и КАМ-32, совпадают. Анализ результатов моделирования линии связи с предлагаемой СКК показывает:

предпочтительные варианты построения модуляторов, реализуемый диапазон скоростей передачи, сравнение её помехоустойчивости с помехоустойчивостью известных СКК.

ЛИТЕРАТУРА

1. Путилин А. Н. Радиосистемы с множественным доступом / под ред. Чуднова А. М. — СПб.: ВАС, 1998.— 148 с.
2. Путилин А. Н., Волкова А. В. Сигнально-кодовая конструкция на основе трёхмерной симплекс-решётки // 12-я Международная конференция «Цифровая обработка сигналов и её применение» («DSPА-2010»). — М. — 2010.
3. Мешковский К. А., Кириллов И. Е. Кодирование в технике связи. — М.: Связь, 1966.— 324 с.
4. Зюко А. Г. и др. Помехоустойчивость и эффективность систем передачи информации / Под ред. Зюко А. Г. — М.: Радио и связь, 1985.— 272 с.
5. Путилин А. Н., Шапала В. С. Моделирование эффективности сигнально-кодовой конструкции на основе трехмерной симплекс решетки // Сборник материалов НТК «Перспективы развития и совершенствования АСУ РВСН — принципы и технологии», ФГБУ 4 ЦНИИ МО РФ, г. Королев, 2017.

С. И. Севастьянов

Кандидат технических наук, начальник сектора, ПАО «Интелтех»

ЗАМЫСЕЛ СОЗДАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ИСПЫТАТЕЛЬНОЙ БАЗЫ ОБОРОННО-ПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

АННОТАЦИЯ. В статье рассматривается развитие стендовой базы и полигонов оборонно-промышленного комплекса. Показан переход от количественных изменений стендовых баз и полигонов к созданию единой экспериментально-испытательной базы оборонно-промышленного комплекса. Исследованы её основные отличительные свойства и показатели. Разработан замысел создания экспериментально-испытательной базы.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: комплексные испытания, апробация, экспериментально-испытательная база, автоматизированная система военного назначения, оборонно-промышленный комплекс, стендовая база, полигон.

Введение

Анализ современного состояния и развития оборонно-промышленного комплекса (ОПК) позволяет выделить одну из проблем, на решение которой в ближайшей перспективе следует сосредоточить усилия в сфере развития ОПК. Эти исследования, постановка и решение перспективных задач посвящены обеспечению экспериментальных работ и испытаний для достижения требуемых системных и технических характеристик вооружения и военной специальной техники (ВВСТ) [1].

В целом основной проблемой в области комплексных испытаний перспективных образцов ВВСТ является отсутствие возможности адекватной оценки соответствия разработанных в процессе опытно-конструкторских работ автоматизированных систем военного назначения (ВВСТ) требованиям, которые предъявил к ним заказчик.

Для разрешения вышеуказанных проблем предлагается создание и развитие экспериментально-испытательных баз автоматизированных систем военного назначения (АС ВН) и в целом экспериментально-испытательной базы (ЭИБ) ОПК, включающей в себя унаследованные и разрабатываемые ЭИБ АС ВН, предна-

значение которой является обеспечение нового качественного уровня проведения экспериментальных и комплексных испытаний в данной области.

Целью статьи является разработка замысла создания экспериментально-испытательной базы ОПК, формирование облика нового образования — ЭИБ ОПК в части систем автоматизированного управления и связи.

1. Состояние стендовой базы и полигонов ОПК

В настоящее время в отчетах по системным опытно-конструкторским работам и в текущих руководящих документах Министерства обороны (МО) РФ отмечается резкое повышение роли реальных экспериментов и инновационных проектов с применением перспективных систем, комплексов, средств информатизации и телекоммуникации, в том числе с использованием полигонов, межвидовых опытных районов и опытных участков (фрагментов) [2–4]. Кроме того ставятся задачи по интеграции потенциала научно-исследовательских учреждений МО РФ [5], по формированию различных объединенных (межвидовых) распределенных полигонов для проведения всех видов испытаний военной

продукции с целью создания и совершенствования средств, комплексов, автоматизированных систем военного назначения.

Те же процессы актуализируются в оборонно-промышленном комплексе, на предприятиях которого созданы и функционируют стенды ряда действующих АС ВН. В рамках выполнения ряда мероприятий Федеральных целевых программы (ФЦП) по развитию ОПК идёт процесс технического перевооружения стендовых баз предприятий промышленности. В научно-практической деятельности ОПК разрабатываются дорожные карты для объединения профильных предприятий в единые группы, осуществляется интеграционная политика, позволяющая не расплывать финансовые средства на техническое перевооружение в рамках создаваемых оборонных кластеров.

При этом на протяжении длительного времени наблюдается накопление постепенных количественных изменений стендовых баз предприятий и полигонов: от стендов до комплексных стендов и территориально-распределенных стендов; от опытных площадок до фрагментов, опытных участков, опытных районов и распределенных полигонов; от испытаний одного образца до испытаний комплекса испытательных образцов в больших системных проектах; от «ручного» управления процессами испытаний до средств и центров автоматизации управления ими в рамках отдельных проектов и т. п.

Анализ состояния экспериментальных баз предприятий оборонно-промышленного комплекса и опыта выполнения работ по созданию АС ВН показывает, что в действующей системе испытаний выполнение больших системных проектов по новым системам связи и автоматизированного управления в целом оказываются неподготовленными технологически [6, 7]; зачастую не решаются проблемы их информационно-технического взаимодействия и совместимости; происходит разрыв между требованиями, закладываемыми заказчиком в специальное программное обеспечение, комплексы связи, средства автоматизации и возможностями предприятий ОПК по их реализации [7]. Этому способствует то, что стендовые базы и полигоны предприятий ОПК и научно-исследовательских организаций МО РФ функционируют разрозненно. Тогда как их объединенные усилия на всех этапах комплексных испытаний перспективных ВВСТ (АС ВН)

весьма востребованы. Например, в экспериментальных проверках ВВСТ с использованием реальных радиолиний (радиоканалов), образованных реальными радиосредствами, а в составе экспериментального образца межвидовой системы (опытного участка) — реальных объектов заказчика.

Проведённый анализ позволил определить научно-технические проблемы создания АС ВН, текущими из которых являются:

сложность и трудоемкость реализации задач обеспечения информационно-технического взаимодействия разрабатываемых автоматизированных систем из-за недостаточной координации работ по созданию общего и общего специального программного обеспечения, информационно-лингвистического обеспечения различных ВВСТ;

низкие технологические возможности по обеспечению модернизации автоматизированных систем и оперативного изменения ее конфигурации;

значительные затраты, необходимые для обеспечения взаимодействия автоматизированных систем;

сложность поддержания в актуальном состоянии значительного количества протоколов информационно-технического взаимодействия функционирующих АС ВН в ходе их эксплуатации.

Рассматривается ЭИБ ОПК в целом и, в частности входящие в её состав, профильные унаследованные и создаваемые ЭИБ АС ВН.

В отличие от существующих стендовых баз и распределенных полигонов новое качество экспериментально-испытательной базы ОПК, как сложной системы, проявляется в ряде её специфических свойств и показателей [8]:

организационная, системная, техническая и функциональная интеграция в состав ЭИБ всей испытательной инфраструктуры, всех профильных испытательных организаций, предприятий и полигонов, их стендовых баз и технических систем (комплексов) полигонов (ТСКП), а также соответствующих инфокоммуникационных средств;

наличие телекоммуникационной составляющей ЭИБ. Оснащение стендовых баз и ТСКП, объединенных в ЭИБ, телекоммуникационным оборудованием, средствами связи и управления, обеспечивающих их увязку и взаимодействие потребителей (предприятий-раз-

работчиков, заказчиков, испытательных служб и др.) в экспериментальных и испытательных процессах (учебный режим, опытная эксплуатация, модернизация с возможностью качественного улучшения характеристик в ходе эксплуатации изделий и т. п.). Потребность и возможность функционирования по принципу «каждый со всеми / все с каждым» путём использования своих объектовых сетей связи ЭИБ и внешних сетей (сетей операторов, ЕЭС, транспортной сети и сетей доступа ОАЦСС, объектовых сетей действующих объектов заказчика);

наличие автоматизированной подсистемы управления (АПУ) ЭИБ, предназначенной для организации, планирования, проведения, контроля и управления комплексными испытаниями образцов ВВСТ в части связи и автоматизации управления в системах (подсистемах) заказчика, а также автоматизации процессов сбора, обработки, накопления, хранения, поиска информации в интересах управления системой испытаний объектов и образцов испытаний. АПУ ЭИБ включает в себя соответствующие службы, комплексы средств автоматизации, АРМ и типовые территориально-разнесенные средства автоматизации комплексных испытаний, устанавливаемых на объектах испытаний.

Разработка замысла создания ЭИБ ОПК включает в себя исследования принципов построения, направлений, задач, мероприятий и механизмов создания ЭИБ.

2. Основные принципы построения ЭИБ

Рассмотрим основные принципы построения ЭИБ.

Принцип централизованного руководства предполагает, что все основные вопросы, связанные с созданием ЭИБ, должны решаться при непосредственном участии заказчика, представителей АС ВН. Применение этого принципа позволит:

определить основные цели, замысел и общую методологию создания ЭИБ;

обеспечить координацию работ отдельных органов военного управления, научно-исследовательских, образовательных и других организаций заказчика и предприятий промышленности, участвующих в создании ЭИБ.

Принцип системного подхода предполагает рассмотрение ЭИБ в качестве элемента экспериментально-испытательной базы надсистемы. Применение этого принципа позволит объективно охарактеризовать и оценить состояние ЭИБ; провести упорядочение, систематизацию ресурсов задействованных в инфраструктуре полигонов, опытных участков, стендовых баз и их взаимоувязку с помощью телекоммуникационной составляющей; определить масштабы предстоящих работ по созданию ЭИБ; предварительно оценить эффект от её использования в системе испытаний ЭИБ надсистемы.

Принцип разделения ответственности предполагает определение ответственности должностных лиц за разработку, актуализацию элементов ЭИБ и достоверность результатов проведения экспериментов и испытаний на их основе. Применение этого принципа позволит установить персональную ответственность за конкретные элементы ЭИБ, их создание и применение.

Принцип этапности предполагает установление определенной последовательности проведения работ по созданию ЭИБ. Применение этого принципа позволит упорядочить работы и рационально распределить временные, материальные и финансовые ресурсы, необходимые для создания экспериментально-испытательной базы ОПК, а также обеспечит практическое применение промежуточных результатов интеграции объектов, элементов ЭИБ.

Принцип унификации и стандартизации предполагает разработку и использование единых методов и программно-аппаратных средств при создании единого инфокоммуникационного пространства ЭИБ, включающего в себя соответствующие интегрированные информационные ресурсы и телекоммуникационные сети, обеспечивающие поддержку информационных взаимодействий за счет предоставления комплекса услуг по организации доступа к сети, коммутации, маршрутизации, доступа к службам. Применение этого принципа позволит обеспечить методологическое и технологическое единство при создании и использовании ЭИБ.

Принцип преемственности предполагает сохранение научно-технического потенциала, применение научного и методического задела на перспективу, рациональное использование существующей инфраструктуры элементов ЭИБ,

задействованных в системе испытаний средств автоматизации и телекоммуникации при создании ЭИБ ОПК. Применение этого принципа позволит уменьшить материальные затраты, сократить сроки создания и внедрения ЭИБ.

Принцип открытости предполагает включение новых элементов в ЭИБ и, при необходимости, их масштабирование. Применение этого принципа позволит обеспечить дальнейшее совершенствование, наращивание экспериментально-испытательной базы ОПК и её интеграцию в экспериментально-испытательную базу надсистемы.

Принцип полноты предполагает интеграцию в ЭИБ всех её компонентов (технологического и испытательного оборудования: средств испытаний и измерения, испытательного оборудования и технических систем (комплексов) испытательных организаций и полигонов), а также ресурсов и видов обеспечения испытаний (материально-техническое обеспечение, метрологическое, бытовое, боевое, программное и техническое обеспечения, защита государственной тайны, противодействие иностранным техническим разведкам) и мест проведения и районов испытаний ВМФ, необходимых органам военного управления, заказчикам и промышленности для выполнения процессов испытаний. Применение этого принципа позволит создать условия для повышения качества апробирования и комплексной отработки предлагаемых системных, программных и технических решений на объектах испытаний.

Принцип целостности предполагает функциональную связность элементов ЭИБ, задействованных в системе испытаний, при их внутренней структурной независимости. Применение этого принципа позволит проводить актуализацию схем взаимосвязи элементов ЭИБ в проведённых испытаниях и обеспечивать изменение структур отдельных элементов для проведения планируемых экспериментов и испытаний без нарушения структуры ЭИБ в целом и задействованных в испытаниях ресурсов обеспечивающих систем, в том числе телекоммуникационной составляющей.

Принцип доступности предполагает возможность получения необходимых полномочий, санкций доступа, ресурсов и условий проведения апробаций и испытаний различных системных, программных и технических ре-

шений (на объектах испытаний) независимо от местоположения, уровней обеспечения, защиты и иных характеристик элементов ЭИБ. Применение этого принципа также позволит обеспечить оперативное и полное автоматизированное предоставление информации о ходе модернизации, перевооружения, развитии и применимости ЭИБ должностным лицам органов военного управления, заказчикам, головным исполнителям и соисполнителям в соответствии с их уровнем полномочий и потребностями.

Принцип защищенности должен обеспечить отсутствие возможности несанкционированного доступа к задействованным в испытаниях инфотелекоммуникационным ресурсам ЭИБ. Применение этого принципа позволит обеспечить информационную (техническую) безопасность ЭИБ.

3. Задачи развития (совершенствования) стендовой базы и полигонов оборонно-промышленного комплекса

Рассмотрим основные задачи развития ЭИБ.

Интеграция стендовых баз и полигонов организаций заказчика и предприятий промышленности в единую ЭИБ.

Разработка и обоснование перспектив развития системы испытаний на базе ЭИБ и определение первоочередных работ (мероприятий) по созданию ЭИБ.

Разработка общих системотехнических требований (ОСТ) к типовым элементам, средствам, оборудованию ЭИБ, а также её специфических требований.

Разработка и обоснование технических предложений и проектов по совершенствованию экспериментально-испытательной базы полигонов для успешного проведения испытаний сложных образцов испытаний АС ВН.

Разработка и обоснование программно-алгоритмических комплексов поддержки процессов проведения испытаний на образцах испытаний АС ВН.

Разработка и обоснование технологий синтеза алгоритмов обработки измерительной информации, позволяющие получать высокоточные оценки параметров об образцах и объектах испытаний, разработка и внедрение перспективного специального программного обеспе-

чения для оценки показателей эффективности систем и комплексов экспериментально-испытательной базы полигонов, что позволит проводить синтез оптимальных структур таких систем и комплексов по обобщенным технико-экономическим критериям.

Текущие задачи при создании стендовых баз на предприятиях ОПК:

проверка конструкторских и технологических решений главных конструкторов изделий;

сокращение сроков испытаний новой аппаратуры на объектах АС ВН;

отладка программного обеспечения изделий в целом, отработка протоколов информационно-логического взаимодействия составных частей изделий и объектовых систем;

проведение натурных испытаний при модернизации изделия или его составных частей в процессе его жизненного цикла;

техническое сопровождение процессов отладки и испытаний изделий для дальнейшего внедрения на объектах заказчика;

техническая поддержка обеспечения работоспособности изделия во время эксплуатации на объектах заказчика;

проверка выполнения требований электромагнитной совместимости для техники связи;

развитие стендовой инфраструктуры с целью обеспечения технологической и производственной базы для разработки и выпуска изделий нового поколения.

4. Направления создания ЭИБ

Совершенствование обеспечения испытаний, комплексной отработки и апробаций образцов испытаний на различных объектах испытаний.

Формирование облика испытательных центров нового поколения, обеспечивающих автоматизацию технологических процессов испытаний и переход от получения данных об объекте к накоплению знаний о нем, сопровождение объектов на всех этапах жизненного цикла создания и эксплуатации, сертификация, создание баз и банков знаний об объектах, образцах испытаний.

Внедрение комплексного математического моделирования процессов, протекающих в стендовых системах и испытываемых изделиях для решения на современном уровне задач проектирования и отработки образцов АС ВН.

Разработка (совершенствование) методологических основ ЭИБ.

Проведение научных исследований по поиску инновационных организационно-технических решений в области ЭИБ ОПК.

Повышение уровня планирования и проведения комплексных испытаний, экспериментальной отработки сложных образцов испытаний АС ВН.

Разработка и развитие комплекса стандартов, обязательных для применения при создании и применении ЭИБ АС ВН, и в целом ЭИБ ОПК.

5. Основные мероприятия, направленные на развитие ЭИБ

Провести анализ требований директивных документов, стандартов, нормативно-технической документации, требований надсистем в части развития ЭИБ АС ВН.

Определить состав научно-исследовательских и испытательных организаций МО и ОПК в части ЭИБ.

Подготовить справочные материалы о научно-техническом заделе организаций по созданию (совершенствованию) стендовых баз и полигонов от организаций ОПК.

Подготовить организационно-системные предложения, комплект ТТЗ (ТЗ) и договорных документов по созданию ЭИБ.

Провести анализ результатов научных исследований в части ЭИБ в программных мероприятиях Государственной программы вооружения, Гособоронзаказа и подготовить предложения для включения готовых изделий в соответствующие проекты планов-графиков оснащения (переоснащения) ЭИБ АС ВН (ЭИБ ОПК).

Подготовить предложения по прямым закупкам и оснащению объектов ЭИБ, в том числе импортозамещающими средствами испытаний зарубежных производителей, не имеющих аналогов в России и обладающих требуемыми эксплуатационными и техническими характеристиками, а также их внедрение в соответствии с действующими нормативными документами.

Проработать организационно-технические возможности привлечения (подключения, взаимодействия) реально действующих объектов АС ВН и её надсистемы к проведению

комплексных испытаний, перспективных экспериментов и отработок технических и программных решений по совершенствованию АС ВН на основе ЭИБ ОПК без дополнительных доработок.

6. Основные механизмы создания ЭИБ ОПК

Основными механизмами создания ЭИБ ОПК являются:

- единое руководство органами военного управления МО РФ созданием и использованием ЭИБ ОПК, включающей в себя профильные ЭИБ АС ВН;

- Федеральные целевые программы развития оборонно-промышленного комплекса РФ;

- Комплексная целевая программа (КЦП) развития ЭИБ ОПК;

- Планы строительства и развития МО РФ (в части соответствующих ЭИБ АС ВН);

- Государственная программа вооружения;
- государственные оборонные заказы.

- строительство полигонов в рамках Федеральных целевых программ.

Задача создания экспериментально-испытательной базы ОПК, как сложной организационно-технической системы, потребует выбора пути её решения. Целесообразно применение архитектурного подхода к созданию ЭИБ ОПК, который определяет единые процедуры создания, регламентирует представление архитектурных описаний и их интеграцию при создании ЭИБ и ее компонентов независимо от их назначения (применяемых в обычной практике или при испытаниях на реальных объектах заказчика).

Архитектура построения экспериментально-испытательной базы ОПК должна состоять из организационной, функциональной, системной и технической архитектур.

Организационная архитектура (ОА) идентифицирует структуру и состав организации (корпорации) как целенаправленной системы (ЭИБ).

Функциональная архитектура (ФА) идентифицирует функциональные и информационные возможности ЭИБ.

Функциональная архитектура — это структурированный набор спецификаций (описаний) функций органов, служб управления, участников испытаний, функциональных (подсистем) систем и требований к технологиям их реали-

зации. ФА характеризует логику построения и работы ЭИБ безотносительно к средствам ее реализации. Она описывается в терминах функциональности и отражает пользовательский взгляд на ожидаемые результаты применения ЭИБ. ФА определяет требования к системной архитектуре.

Системная архитектура (СА) идентифицирует все типы систем, поддерживающих общие и частные функции и задачи ЭИБ и её элементов.

СА определяет направления реализации функциональной архитектуры на макросистемном уровне. Она структурирует ЭИБ с детализацией до составляющих ее систем (подсистем), определяет стандарты функционирования и взаимодействия этих систем, а также основные положения по совместимости ЭИБ с внешними системами. СА определяет требования к технической архитектуре.

Техническая архитектура (ТА) идентифицирует технологические стандарты, правила и соглашения. Она реализует требования системной архитектуры на технологическом уровне. ТА специфицирует унифицированные технические (в т. ч. программные) компоненты, реализующие системную архитектуру, и определяет технические стандарты, правила и соглашения построения, функционирования и интеграции (взаимодействия) этих компонентов.

В общем виде основные элементы архитектуры ЭИБ представлены на рис. 1, который позволяет наглядно отразить: основные организации и участников; объекты и образцы испытаний, стендовые базы, элементы и средства АПУ, телекоммуникационную составляющую ЭИБ и их компоненты с соответствующими функциями; оборудование, виды обеспечения и средства испытаний.

Вывод

Создание и использование ЭИБ ОПК позволит исполнителям и заказчикам: повысить эффективность функционирования существующей системы испытаний опытных образцов ВВСТ, сократить её технологические затраты; получать адекватные оценки тактико-технических характеристик, выполнения заданных требований заказчика при проведении комплексных испытаний АС ВН; оперативно и экономично применять общие ресурсы и услуги ЭИБ; обеспечить возможность проведения экспериментов и апробаций, с целью про-



Рис. 1. Основные элементы архитектуры ЭИБ ОПК

верки основных системных, организационных и технических решений до начала системных ОКР (перед очередными этапами ОКР), что в целом повысит эффективность проводимых

работ за счёт сокращения времени и затрат, обеспечит решение перспективных задач в системе испытаний для достижения заданного уровня технических характеристик ВВСТ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Закутнев С. Е., Уваров А. В. Современное состояние и проблемы функционирования оборонно-промышленного комплекса. [Электронный ресурс] // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования: Научный интернет-журнал. 2014.— № 1(17). Режим доступа http://iea.gostinfo.ru/files/2014_01/2014_01_09.pdf.
2. Репин С. И., Метлицкий Г. И., Коробков С. П. Требуется моделирование боевой реальности. // ВКО. 2014. № 3. С. 66–73.
3. Костров С. А., Бегларян С. Г. Системный подход к созданию тренажно-имитационных средств подготовки органов управления Войсками ВКО. // Военная мысль. 2015. № 4. С. 8–13.
4. Козичев В. Н., Каргин В. Н., Ширманов А. В., Голошев С. П. Перспективы создания корпоративных автоматизированных информационных систем военного назначения // Военная мысль. 2015. № 10. С. 19–32.
5. Зацаринный А. А. Системный подход — основа научно-технической политики в развитии АСУ и систем военной связи. // Связь в Вооруженных Силах РФ — 2016. С. 21–24.
6. Иванов В. В. Проблемы создания АСУ Вооруженных Сил. // ВКО. 2014. № 4. С. 28–36.
7. Беспалов А. Н., Шептура В. Н. Некоторые взгляды на создание единой научной информационно-образовательной среды военно-учебного заведения с учетом особенностей подготовки офицеров войск связи // Связь в Вооруженных Силах РФ — 2015, С. 47–50.
8. Севастьянов С. И. Развитие стендовой базы и полигонов оборонно-промышленного комплекса // Интеллектуальные разработки в интересах строительства и развития ВМФ: Труды НИИ ОСИС ВМФ ВУНЦ ВМФ «ВМА». Научно-технический сборник. — Петродворец, 2017. — С. 373–374.

В. И. Талагаев

Кандидат технических наук, старший научный сотрудник,
профессор АВН, начальник отдела ПАО «Интелтех»

Д. В. Лебедев

Инженер ПАО «Интелтех»

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ВЫБОРА ТРАСС КАНАЛОВ В РЕГИОНАЛЬНОЙ СЕТИ СВЯЗИ

АННОТАЦИЯ: В работе предложен алгоритм автоматического выбора трассы каналов и организации связи между абонентами в сети связи с использованием метода пометок и алгоритма кратчайших путей, позволяющих вычислять величину потока, протекающего в сети с заданной структурой (составом узлов и каналов между ними) и известными пропускными способностями и занятостью каналов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Региональная сеть связи, узлы связи, разнородные (составные) каналы и тракты связи между узлами (абонентами), транзитные узлы связи, пропускная способность каналов (трактов), занятость каналов связи.

Региональная сеть связи (РСС) представляет собой организационно-техническое объединение пространственно-рассредоточенных узлов, связанных между собой линиями, трактами, каналами связи и обмена разнородной информацией (далее каналами). Каналы обеспечивают транспортирование и распределение разнородного информационного трафика между узлами, привязанными к пунктам управления.

В состав сети могут входить проводные электрические, оптические, радиорелейные, тропосферные, спутниковые каналы, радиоканалы УКВ-ДЦВ и ДКМ диапазонов. На основе этих каналов могут быть организованы как прямые однородные, так и составные разнородные каналы связи. Организация прямых и составных каналов связи между узлами представляет собой один из процессов управления ресурсами сети с учетом ее структуры, пропускной способности и загруженности каналов связи.

При оперативном управлении РСС часто требуется организовать канал связи (КС), проходящий через несколько транзитных узлов связи сети по свободным, незагруженным каналам, т. е. выбрать трассу канала связи. Для поиска свободных каналов оператор, исходя из

практических знаний и опыта, должен «вручную» обработать большой объем информации, что занимает значительное время. Например, в состав средней по объему РСС может входить более 4500 только каналов ТЧ. Задача существенно усложняется при необходимости организации трасс нескольких каналов одновременно [1].

Одним из эффективных способов сокращения трудоемкости и времени решения этой задачи является автоматизация процессов управления РСС на базе компьютерных средств, предполагающая наличие специальных математических моделей, машинных алгоритмов и программных средств обработки данных. В этом случае информация, описывающая состояние РСС, хранится в памяти ЭВМ в виде таблицы, каждая строка которой полностью определяет состояние и реквизиты КС (номер группы, номер канала в группе, пропускная способность, направление, занятость и т. д.).

При отображении РСС на экране графического дисплея ее структура может быть представлена в виде неориентированного взвешенного графа $Q = (N, A)$, где N и A — количество узлов и дуг графа соответственно. Вариант структуры РСС приведен на рис. 1.

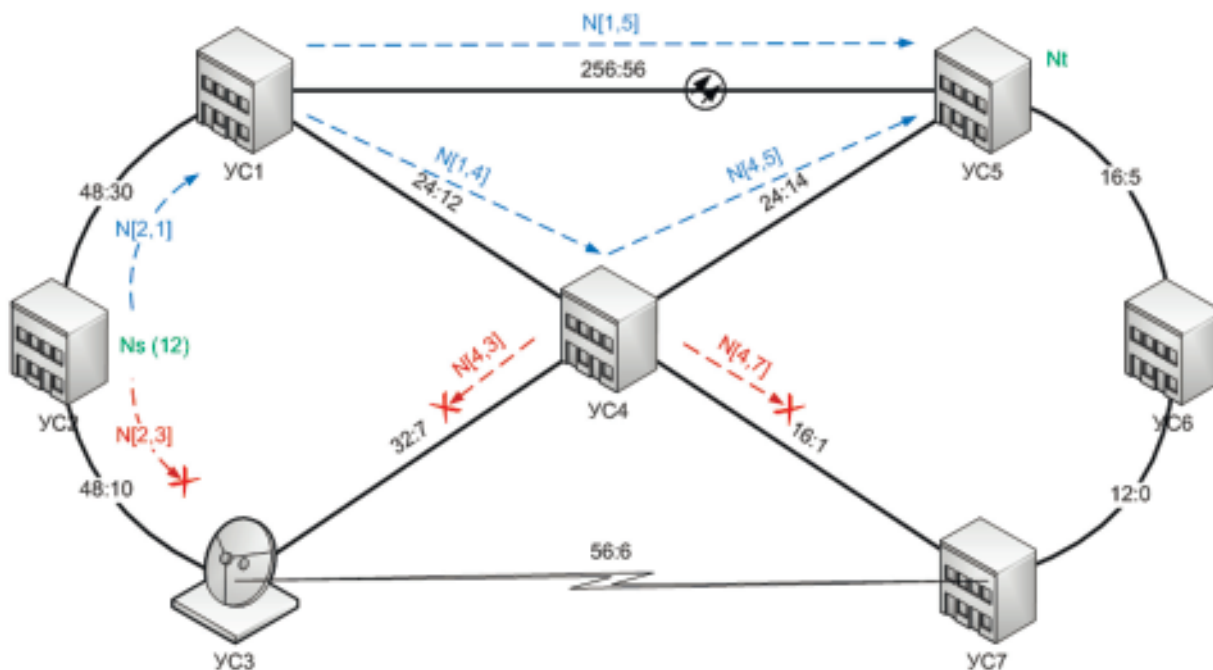


Рис. 1. Вариант структура PCC

Каждому узлу графа $n_i N$, $i = 1, N$ ставится в соответствие УС, каждой дуге A_{ij} — направление связи, начинающееся в i -м и заканчивающееся в j -м узле связи.

Каждая дуга A_{ij} обладает пропускной способностью C_{ij} , равной количеству каналов ветви связи, и остаточной пропускной способностью C_{ij}^0 , равной числу свободных каналов в направлении связи. Так как граф является неориентированным, то наличие дуги A_{ij} означает наличие и дуги A_{ji} . При этом выполняются равенства

$$\begin{cases} C_{ij} = C_{ji} \\ C_{ij}^0 = C_{ji}^0 \end{cases} \quad (1)$$

Для нахождения максимального количества возможных КС между начальным узлом N_S и конечным N_T узлом связи, а также определения трасс КС можно использовать метод пометок [2], позволяющий вычислить величину потока F_{ST} , протекающего в сети с заданной структурой, т. е. с известным составом узлов и дуг и их пропускными способностями. Под потоком F_{ST} будем понимать суммарное число КС между узлами N_S и N_T . Увеличение потока на единицу означает организацию дополнительного КС между узлами N_S и N_T . Суть данного метода состоит в последовательном опре-

делении путей прохождения КС от начального N_S до конечного узла N_T , каждый из которых увеличивает общий поток. При этом используются специальные пометки, которые присваиваются узлам графа. Каждая пометка состоит из двух частей: одна является индексом, указывающим на предыдущий узел в пути, другая — числом ϵ , указывающим максимальную величину потока, на которую можно изменить текущий поток в дуге между рассматриваемыми узлами, не нарушая ограничений на ее пропускную способность.

Для произвольного узла N_j , который помечается из узла N_i , возможны два случая определения пометки. В первом случае направление ветви A_{ij} совпадает с направлением расстановки пометок. Физически это означает, что из узла N_i в узел N_j можно передать дополнительно (по отношению к текущему потоку F_{ij}) ϵ_j единиц потока. Тогда пометка узла связи N_j , будет иметь вид

$$[+i; \epsilon_j], \quad (2)$$

где $\epsilon_j = \min(\epsilon_1; C_{ij}^0 - F_{ij})$; ϵ_1 — величина дополнительного потока в узле N_i ; C_{ij}^0 — остаточная пропускная способность дуги A_{ij} ; F_{ij} — величина потока, протекающего в дуге A_{ij} .

В этом случае узел N_j может быть помечен из узла N_i только при выполнении условия

$$C_{ij}^{\circ} - F_{ij} > 0, \quad (3)$$

означающего, что дуга A_{ij} не насыщена, т. е. в ней существуют свободные КС.

Во втором случае направление дуги A_{ij} противоположно направлению расстановки пометок. Это означает, что величину потока от узла N_i в узел N_j можно уменьшить на ε_j единиц и в дальнейшем перераспределить его по другим путям.

Тогда пометка узла связи N_j будет иметь вид

$$[-i; \varepsilon_j], \quad (4)$$

где $\varepsilon_j = \min(\varepsilon_i; F_{ji})$; ε_i — величина дополнительного потока в узле N_i ; F_{ji} — величина потока, протекающего в дуге A_{ji} .

Узел N_j может быть помечен из узла N_i только при выполнении условия

$$F_{ji} > 0, \quad (5)$$

означающего, что в дуге A_{ji} протекает поток сообщений (существуют занятые КС).

Процесс расстановки пометок в РСС, изображенной графом на рисунке 1, начинается с присвоения узлу N_S пометки $[S+; \infty]$, означающей, что из источника S может вытекать неограниченный сверху поток. Для нахождения пути, увеличивающего общий поток, пометим все УС, соединенные с N_S , с учетом ограничений (формулы 2–5). Будем продолжать присвоение пометок узлам, являющимся соседними с уже помеченными узлами до тех пор, пока не будет выполнено одно из двух условий: помеченным окажется N_m , либо станет невозможным пометить ни один соседний узел связи, а N_m останется непомеченным.

При выполнении первого условия производится увеличение протекающего в РСС потока по найденному увеличивающему пути. Расчет такого увеличения потока может быть произведен по рекуррентным формулам

$$\begin{cases} F_{ij}^k = F_{ij}^{k-1} + \varepsilon_i \\ F_{ji}^k = F_{ji}^{k-1} + \varepsilon_i \end{cases}$$

для всех $N = \{N_S, \dots, N_i, N_j, \dots, N_m\}$ на k -м этапе вычислений.

После этого все пометки стираются и цикл вычислений для нахождения следующего увеличивающего пути повторяется, начиная с присвоения пометки N_S , но вычисления производятся при измененном потоке F_{ST} .

Суть второго условия в том, что не существует пути между узлами N_S и N_T , увеличива-

ющего поток F_{ST} , и, следовательно, найдено максимальное количество возможных КС между начальным узлом N_S и конечным узлом N_T связи, а также определены трассы для всех КС.

Программная реализация модели может быть выполнена на языке программирования *Java* [3–5]. При разработке программы необходимо использовать алгоритм кратчайших путей [6], позволяющий на каждой итерации находить увеличивающий путь с наименьшим количеством транзитных узлов связи. При этом длина увеличивающего пути $N = \{N_S, \dots, N_i, N_j, \dots, N_T\}$ характеризуется числом, принадлежащих ему дуг A , а ранг вершины N_V определяет длину пути $N = \{N_S, \dots, N_V\}$.

При использовании алгоритма кратчайших путей дополнительно вводится массив рангов помеченных вершин. На первом этапе реализации метода просматривается единственная вершина нулевого ранга N_S и помечаются концы всех выходящих из узла N_S дуг, по которым может быть направлен дополнительный поток. Эти концы, и только они, составляют совокупность вершин 1-го ранга. На следующем этапе алгоритма просматриваются только дуги, имеющие начало и конец в вершинах 1-го и 2-го ранга соответственно. При этом конец такой дуги помечается, если этого не было сделано раньше. Процесс продолжается аналогичным образом до тех пор, пока не будет помечена вершина N_T , т. е. найден увеличивающий путь $N = \{N_S \dots N_i, N_j \dots N_T\}$, число дуг которого равно рангу вершины N_T .

Общее количество каналов связи, которые могут быть одновременно выделены в указанном направлении при существующей нагрузке равно 12 (см. рис. 1). На дугах структуры РСС, изображенной на рисунке 1, через двоеточие обозначены пропускная способность ветви связи (общее количество КС) и остаточная пропускная способность (количество свободных КС). Первоначальная загрузка РСС определяется разностью между общим количеством КС и числом свободных КС.

Для примера по предложенному алгоритму проведен выбор трассы каналов для структуры РСС, приведенной на рисунке 1. Показано, что для организации обмена информацией, например, между узлами N_S и N_T сети возможны только два пути (на рисунке обозначены синим цветом): первый путь $M[2,1]$, $M[1,5]$ и второй путь $M[2,1]$, $M[1,4]$, $M[4,5]$. Другие пути из-за недостаточной пропускной способности и занятости

каналов связи использоваться не могут (на рис. обозначены красным цветом).

Таким образом, предложенная модель позволяет определить число и направление возможных трасс КС при анализе РСС со сложной структурой, известными пропускными способности каналов и существующей загрузке. При этом время и трудоемкость выбора трасс КС значительно сокращается по сравнению с «ручным» способом.

Модель может быть использована должностными лицами органов управления и операторами связи в процессе оперативного управления РСС, при планировании загрузки региональной сети и при обучении, а также при выборе структуры сети и создании программно-технических средств автоматизации управления каналами и потоками в РСС.

ЛИТЕРАТУРА

1. Талагаев В. И., Кезлинг А. Г. Модель анализа живучести локальной сети связи. ТНТ сборник НИИ связи ВМФ. Вып. 1(125), СПб, 1993.
2. Форд Л. Р., Фалкерсон Д. Потоки в сетях. — М.: Мир, 1962.
3. Goncalves A. Beginning JAVA EE7. — СПб.: Изд. ООО «Питер», 2014.
4. Свиридов А. А. Использование XML в планировании и управлении сетями связи. Воронеж: Вэлборн, 2016.
5. Бакланов И. Релятивизм в метрологии систем связи. Москва: Изд. ЛитРес, 2017.
6. Адельсон-Вельский Г. М., Диниц Е. А., Карзанов А. В. Потокные алгоритмы. — М.: Наука, 1976.

ТЕХНИКА СРЕДСТВ СВЯЗИ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

№1 (145). 2019

Компьютерная верстка *Н. В. Стасевой*
Дизайн обложки: Шаутин Д.А.
Поддержка сетевой версии журнала: Лебедев Д.В.

Налоговая льгота — Общероссийский классификатор продукции
ОК 005-93, т. 2; 95 3004 — научная и производственная литература

Подписано в печать 22.01.2019. Формат 60X84/8. Печать цифровая.
Усл. печ. л. 22,75. Тираж 100. Заказ 352.

Отпечатано с готового оригинал-макета,
предоставленного Издательством Политехнического университета,
в Типографии Политехнического университета.
195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29.
Тел.: (812) 552-77-17; 550-40-14.