

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

Николашин Ю.Л. Советник генерального директора ПАО «Интелтех». Кандидат технических наук

ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА ЖУРНАЛА:

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

**ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА ЖУРНАЛА
(Председатель редколлегии):**

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

ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОГО СОВЕТА:

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

Кузичкин А.В. Заместитель генерального директора Научно-исследовательского института телевидения по информационным технологиям. Д.т.н., профессор. Заслуженный деятель науки РФ

Курносоев В.И. Заместитель генерального директора по научной работе АО «НИИ «Рубин». Д.т.н., профессор.

Лычагин Н.И. Советник генерального конструктора ПАО «Интелтех». Д.т.н., профессор

Мирошников В.И. Генеральный конструктор ПАО «Интелтех». Д.т.н., профессор. Заслуженный деятель науки РФ

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

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

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

Яшин А.И. Заместитель генерального конструктора – научный руководитель работ ПАО «Интелтех». Д.т.н., профессор. Заслуженный деятель науки РФ

ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ:

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

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

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

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

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

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

Куприянов А.И. Московский авиационный институт (Национальный исследовательский университет). Д.т.н., профессор

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

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

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

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

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

Михайлов Р.Л. Череповецкое высшее военное инженерное училище радиозлектроники (г. Череповец). К.т.н.

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

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

Путилин А.Н. ПАО «Интелтех» (г. Санкт-Петербург). Д.т.н., профессор

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

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

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

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

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

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

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

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

JOURNAL DEPUTY EDITOR-IN-CHIEF:

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

**JOURNAL DEPUTY EDITOR-IN-CHIEF
(Editorial Board Chairman):**

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

EDITORIAL COUNCIL MEMBERS:

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

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

Kurnosov V.I. Director General in scientific work of JSC "NII" Rubin". Doctor of Technical Sciences, Professor.

Lychagin N.I. Higher School Honored Employee of the Russian Federation General Designer Advisor of PJSC «Inteltech». Doctor of Technical Sciences, Professor

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

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

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

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

Yashin A.I. Deputy General Designer – Scientific Supervisor 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

Dementiev V.E. PJSC "Inteltech" (St. Petersburg). Doctor of Technical

Sciences, Associate Professor

Dorogov A.Y. PJSC "Inteltech" (St. Petersburg). Doctor of Technical

Sciences, Associate Professor

Zhukov G.A. PJSC "Inteltech" (St. Petersburg). Doctorate of Technical

Sciences, Senior Researcher

Kupriyanov A.I. Moscow Aviation Institut (National Research Universit)

Doctor of Technical Sciences, Professor

Legkov C.E. Military Space Academy of A.F. Mozhaiskiy (St. Petersburg).

Doctorate of Technical Sciences, Associate Professor

Lipatnikov V.A. Military Academy of Communications (St. Petersburg).

Doctor of Technical Sciences, Professor

Makarenko S.I. Saint Petersburg State LETI Electrotechnical University of V.I.

Ulyanov (Lenin) (St. Petersburg). Doctor of Technical

Sciences, Associate Professor

Makoviy V.A. Concern Constellation JSC (Voronezh).

Doctor of Technical Sciences. Senior Researcher

Minakov V.F. St. Petersburg State Economic University (St. Petersburg).

Doctor of Technical Sciences, Professor

Mikhailov R.L. Cherepovets Higher Military Engineering School of Radio

Electronics (Cherepovets). Doctorate of Technical Sciences

Odoevskiy S.M. Military Academy of Communications (St. Petersburg).

Doctor of Technical Sciences, Professor

Pashintsev V.P. North Caucasus Federal University (Stavropol).

Doctor of Technical Sciences, Professor

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

Sciences, Professor

Fedorenko V.V. North Caucasus Federal University. (Stavropol).

Doctor of Technical Sciences, professor

Finko O.A. Krasnodar Higher Military School named after General of the

Army S.M. Stemenko (Krasnodar). Doctor of Technical

Sciences, Professor

Tsymbal V.A. Branch of the Great Petr RVSН Military Academy

(Serpukhov). Doctor of Technical Sciences, Professor

Semenov S.S. Military Academy of Communications (St. Petersburg).

Doctor of Technical Sciences, Professor

Saenko I.B. Saint Petersburg Institute of Informatics and Automation of the

Sciences Russian Academy (St. Petersburg).

Doctor of Technical Sciences, Professor

Starodubtsev Y.I. Military Academy of Communications (St. Petersburg).

Doctor of Technical Sciences, Professor

РЕДАКЦИЯ:

Верстка принт-макета: **Мамончикова А.С.**

Дизайн обложки: **Шаутин Д.В.**

Поддержка сетевой версии журнала: **Тюкинеева Л.В.**

Секретарь редакции: **Михайлова Н.В.**

АДРЕС**РЕДАКЦИИ:**

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



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

Периодичность выхода журнала 4 номера в год.

Публикация в журнале является научным печатным трудом.

Основное содержание издания представляют собой научные статьи и научные обзоры.

Информация предназначена для детей старше 12 лет.

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

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

ISSN (print): 2782-2141; ISSN (online): 2782-2133; РИНЦ (eLIBRARY ID: 77074)

Подписной индекс журнала «Техника средств связи» – 79656

Ссылки для оформления интернет-подписки на журнала: <https://www.akc.ru/itm/means-of-communication-equipment/>

<https://www.pressa-rf.ru/cat/1/edition/e79656/>

СОДЕРЖАНИЕ СИСТЕМЫ СВЯЗИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ

Яшин А.И., Дорогов А.Ю. Структурное проектирование территориально-распределенных радиосетей коротковолнового диапазона.....	2
Акулов В.С., Талагаев В.И., Угрик Л.Н. Анализ дальности связи и глубины приема сигналов на сверхдлинных волнах.....	9
<u>АНАЛИЗ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ПЕРСПЕКТИВ РАЗВИТИЯ ТЕХНИКИ СРЕДСТВ СВЯЗИ</u>	
Шаптала В.С. Построение эквалайзера для радиомодема в диапазоне коротких волн.....	15
<u>СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ</u>	
Мегера Ю.А. Применение программного обеспечения при решении управленческих задач в общей структуре технического обеспечения связи и автоматизированной системы управления.....	21
Голунов М.В. Методика функционального контроля средств радиосвязи автоматизированного радицентра.....	30
<u>ВОПРОСЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ</u>	
Кулешов И.А., Талагаев В.И., Мамончикова А.С. Ретроспектива методов и средств радиоэлектронной защиты систем морской радиосвязи.....	53
Иванов В.А., Двилянский А.А., Иванов И.В., Гондаренко Е.А. Роль и место электромагнитного оружия при реализации наступательной стратегии в информационной специальной операции.....	62
Хотченков А.С. Помехозащищенность от электромагнитных помех с помощью экранирования и сетевых фильтров.....	74
<u>ПЕРЕДАЧА, ПРИЕМ И ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ</u>	
Щукин А.Н., Солозобов С.А. Формирование спектрально-эффективного OFDM сигнала в базе дискретных вейвлет-функций.....	80
<u>ОБЪЕКТЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ И ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОБЛАСТИ РАЗРАБОТКИ СРЕДСТВ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ</u>	
Mikhailova E.N. Linguistic analysis of microwave terms.....	90

CONTENTS COMMUNICATION AND TELECOMMUNICATION SYSTEMS

Yashin A.I., Dorogov A.Yu. Structural Design of Geographically Distributed Short-wave Networks.....	2
Akulov V.S., Talagaev V.I., Ugrik L.N. Analysis of communication range and depth of signals reception on ultra-long waves	9
<u>ANALYSIS OF NEW TECHNOLOGIES AND DEVELOPMENT PROSPECTS OF COMMUNICATION EQUIPMENT</u>	
Shaptala V.S. An equalizer for shortwave radio modem.....	15
<u>THE CONTROL SYSTEM</u>	
Megeera Yu.A. Application of software in solving management problems in the general structure of CBT and ACS.....	21
Golyunov M.V. Methodology of functional control of radio communication facilities of an automated radio center.....	30
<u>INFORMATION SECURITY ISSUES</u>	
Kuleshov I.A., Talagaev V.I., Mamonchikova A.S. Methods and means of electronic protection of marine radio communication systems.....	53
Ivanov V.A., Dviljanskij A.A., Ivanov I.V., Gondarenko E.A. The role and place of electromagnetic weapons in the implementation of the offensive strategy in the information special operation.....	62
Khotchenkov A.S. Noise immunity from electromagnetic interference by means of shielding and network filters.....	74
<u>SIGNAL TRANSMISSION, RECEPTION AND PROCESSING</u>	
Shchukin A.N., Solozobov S.A. Formation of a spectral-efficient OFDM signal in the basis of discrete wavelet functions.....	80
<u>INTELLECTUAL PROPERTY AND INNOVATIVE TECHNOLOGIES IN TELECOMMUNICATION DEVELOPMENT</u>	
Михайлова Е.Н. Лингвистический анализ электротехнических терминов.....	90

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

СИСТЕМЫ СВЯЗИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ

УДК 621.396

DOI: 10.24412/2782-2141-2022-3-2-8

Структурное проектирование территориально-распределенных радиосетей коротковолнового диапазона

Яшин А.И., Дорогов А.Ю.

Аннотация: Рассматривается алгоритм структурного проектирования территориально распределённых радиосетей коротковолнового диапазона. Представлена программная модель алгоритма, позволяющая выполнить синтез структуры сети с заданным числом узлов и с учетом приоритетного выбора узлов из базы данных. Приведены примеры структурного проектирования декаметроволновой сети для территории РФ. Предлагается для оценки структуры сети использовать критерий функциональной устойчивости. Описана имитационная модель расчета функциональной устойчивости радиосети при воздействии дестабилизирующих факторов. Приведены результаты имитационных экспериментов.

Ключевые слова: декаметровые волны; коротковолновый диапазон; распределенная радиосеть.

Введение

Декаметроволновой (ДКМВ) канал позволяет обеспечить связь на многие тысячи километров при малой мощности передатчиков. Коротковолновая (КВ) связь безальтернативна в областях, не имеющих инфраструктуры, труднодоступных и северных районах, районах стихийных бедствий [1]. Для РФ с ее огромной протяженностью территории и множеством малодоступных мест, значимость КВ-радиосвязи трудно переоценить. Стоимость ДКМВ-радиоканалов на порядок ниже, а живучесть в условиях конфликтных ситуаций выше по сравнению со спутниковыми каналами связи. ДКМВ-радиоканалы могут использоваться для передачи звуковой информации, телеграфных сигналов и цифровых данных.

Однако, качество ДКМВ-радиоканала существенно зависит от частоты радиосигнала, состояния ионосферы, времени суток, солнечной активности. Распространение КВ-радиоволн по нескольким путям и сложение их в точке приема с разными фазами является причиной появления селективных замираний. К недостаткам ДКМВ-канала также относится наличие «зон молчания» в ближней зоне, полярных областях, и в прибрежных районах на границе «море-суша».

Дальняя связь в КВ-диапазоне реализуется за счет многократного отражения радиоволн от ионосферных слоев атмосферы. Протяженность одного скачка радиоволны составляет ориентировочно 1500-2500 км. Из-за нестабильности атмосферы, связи большой протяженности не устойчивы. Повысить надежность КВ-связи можно за счет организации КВ-радиосетей. В радиосети передаваемый сигнал проходит несколько узлов, на каждом из которых он усиливается и очищается от помех. Мощность принимаемого радиосигнала максимальна после первого скачка, поэтому целесообразным представляется построение КВ-радиосетей на односкачковых радиоканалах. Сложность физических процессов распространения ионосферных радиоволн приводит к необходимости разработки моделей имитационного моделирования аналоговых и цифровых каналов передачи данных в КВ-диапазоне [2-5].

Надежность сети определяется степенью связанности ее радиоцентров, т. е. количеством радиолиний, связывающих узел радиосети с соседними узлами. Каждый радиоцентр может быть оборудован средствами радиодоступа, обеспечивающими связь с

соседним узлом на расстоянии до 1500 км. Для территории РФ с ее большой протяженностью актуальна задача оптимального размещения радиоузлов сети так, чтобы при минимальном количестве узлов обеспечить полное радиопокрытие территории страны и прилегающих областей.

В данной статье рассматриваются методы структурного проектирования одоскачковых ДКМВ-радиосетей. Задача решается, применительно к территории РФ. Кроме одоскачковости, структурными критериями проектирования являются степень связанности узлов сети и неравновесность дистанционных плеч радионаправлений до ближайших узлов. Последний критерий принципиально важен, поскольку позволяет повысить надежность радиосети, за счет выбора радионаправления, обеспечивающего наилучшее качество связи при различных ионосферных условиях. Оценка структуры радиосети выполняется по критерию функциональной устойчивости сети к дестабилизирующим факторам.

Особенности структурного проектирования радиосети

При проектировании предполагается, что узлы радиосети имеют стационарные позиции размещения на территории РФ, а мобильность абонентов реализуется за счет средств радиодоступа. Задача оптимального размещения узлов на территории РФ может иметь множество решений. Кроме факторов дистанционного и географического положения на размещение могут влиять технологические условия положения стационарного узла, такие как необходимая инфраструктура для установки радиоузла, наличие кадрового потенциала, транспортная доступность, профиль местности и пр. Зона радиопокрытия территории РФ оценивается после того, как структура сети построена. На рис. 1 показан пользовательский интерфейс программы структурного проектирования. Программа реализована в среде Матлаб.

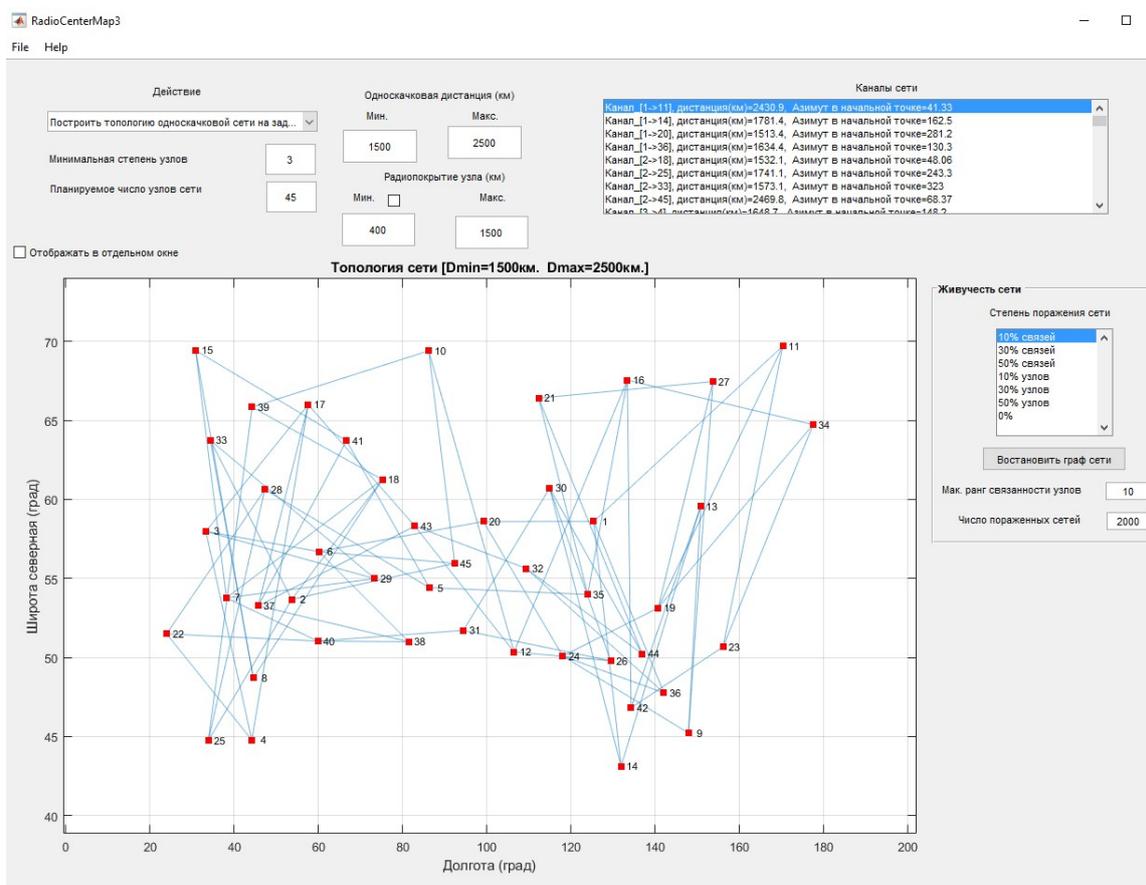


Рис. 1. Пользовательский интерфейс программы структурного проектирования ДКМВ-радиосетей

Тестовая база возможных размещений узлов сети представляет собой текстовый файл, содержащий координаты 1082 городов РФ с распределением по федеральным округам и регионам. Формат файла показан на рис. 2.

База данных содержит наименование города, принадлежность федеральному региону и округу, а также географические координаты широты и долготы размещения города на территории РФ.

	City	Region	Okrug	lat	lng
1	Абаза	Хакасия	Сибирский	52.6517	90.0896
2	Абакан	Хакасия	Сибирский	53.7212	91.4424
3	Абдулино	Оренбургская область	Приволжский	53.6778	53.6473
4	Абинск	Краснодарский край	Южный	44.8663	38.1512
5	Агидель	Башкортостан	Приволжский	55.8998	53.9220
6	Агрыз	Татарстан	Приволжский	56.5263	52.9953
7	Адыгейск	Адыгея	Южный	44.8849	39.1906
8	Азнакаево	Татарстан	Приволжский	54.8598	53.0745
9	Азов	Ростовская область	Южный	47.1124	39.4236
10	Ак-Довурак	Тыва	Сибирский	51.1785	90.5985
11	Акса́й	Ростовская область	Южный	47.2698	39.8626
12	Алагир	Северная Осетия – Алания	Северо-Кавказский	43.0417	44.2199
13	Алапаевск	Свердловская область	Уральский	57.8530	61.7027
14	Алатырь	Чувашия	Приволжский	54.8398	46.5722
15	Алдан	Якутия	Дальневосточный	58.6095	125.3817
16	Алейск	Алтайский край	Сибирский	52.4822	82.7704

Рис. 2. Формат файла базы городов РФ

Алгоритм структурного синтеза радиосети

Алгоритм структурного синтеза сети является эвристическим. Мотивация используемых операций определяется критериями синтеза, изложенными в разделах I и II.

Для работы алгоритма структурного синтеза должен быть задан следующий набор входных данных:

- диапазон расстояний [D_{min} , D_{max}] установления односкачковой связи между узлами;
- минимальная степень связанности узлов радиосети (типично 3). Этот показатель определяет степень надёжности установления связи через сеть;
- база данных с координатами потенциально-возможных мест размещения радиоцентров.

Для тестового режима используется база данных городов РФ.

- планируемое число узлов сети;
- подмножество приоритетных городов (базовых узлов), в которых заведомо планируется размещение радиоцентров сети.

Алгоритм выполняется в следующей последовательности:

1. Выбор базовых (приоритетных) узлов сети производится в интерактивном режиме. Для базы данных городов выбор узлов осуществляется по федеральным округам. Число базовых узлов для каждого федерального округа не ограничено.

2. Для набора базовых узлов строится возможный граф радиосети, удовлетворяющий критерию односкачковости.

3. Алгоритм структурного синтеза запускается, если число базовых узлов меньше планируемого числа узлов сети. В противном случае, выдаётся результат для сети, состоящей из базовых узлов, и на этом работа программы завершается.

4. Если число базовых узлов меньше планируемого числа узлов сети, то на базовых узлах строится сеть, в которой радиолинии по протяжённости удовлетворяют допустимому диапазону односкачковости.

5. В построенной сети для каждого узла определяется набор смежных вершин, и из этого набора формируются комбинации с числом вершин, не превышающих допустимую степень вершин сети.

6. Из допустимых комбинаций выбирается комбинация смежных вершин с наиболее неравновесными по протяжённости радиолиниями, связывающими смежные вершины с узлом. Выбор неравновесных плеч обеспечивает максимальную надёжность сети. Оценка неравновесности производится по значению энтропии протяжённости связывающих радиолиний. Найденные оптимальные комбинации смежных вершин сохраняются для каждого узла в массиве смежных вершин. Первоначально этот массив пуст, но корректируется при оптимизации каждого узла. Значения массива используются при формировании оптимальных комбинаций смежных вершин на последующих этапах.

7. Операции 5 и 6 повторяются для всех узлов текущей сети. В результате массив смежных вершин заполняется оптимальными комбинациями с заданной степенью вершин.

8. Построенный массив смежных вершин используется для построения графа оптимальной сети для текущего значения числа вершин.

9. Если текущее значение числа вершин меньше запланированного, то осуществляется добавление новой вершины с этой целью, начиная с первого узла построенной оптимальной сети, в базе городов ищется город, удовлетворяющий критерию односкачковости по удалённости от первого узла. Таких городов может быть несколько. Из них выбираются города, удалённые на расстоянии не менее D_{min1} от всех прочих узлов сети (первоначально $D_{min1} = D_{min}$). Таких городов также может быть несколько. Из полученного набора выбирается город с максимальным расстоянием от всех прочих узлов сети. Этот принцип выбора новой вершины обеспечивает максимальное покрытие территории РФ.

10. В случае если новая вершина найдена, поиск вершин завершается на текущем узле, в противном случае, осуществляется переход ко второму узлу, и так до исчерпания всех узлов. Если оказалось, что после перебора всех узлов, новая вершина не найдена, значение D_{min1} снижается (типично на 100 км), и процесс поиска новой вершины повторяется заново.

11. Когда новая вершина найдена, граф сети строится заново. Выполняется его оптимизация (по пунктам 5, 6, 7). Строится оптимальный граф (пункт 8).

12. Если число вершин графа сети совпадает с запланированным значением, работа алгоритма завершается, отображается структура сети и её характеристики, в противном случае, выполняется поиск новой вершины (пункт 9), и процесс построения сети продолжается.

На рис. 3 показан результат работы алгоритма структурного синтеза на сети с 45 узлами.

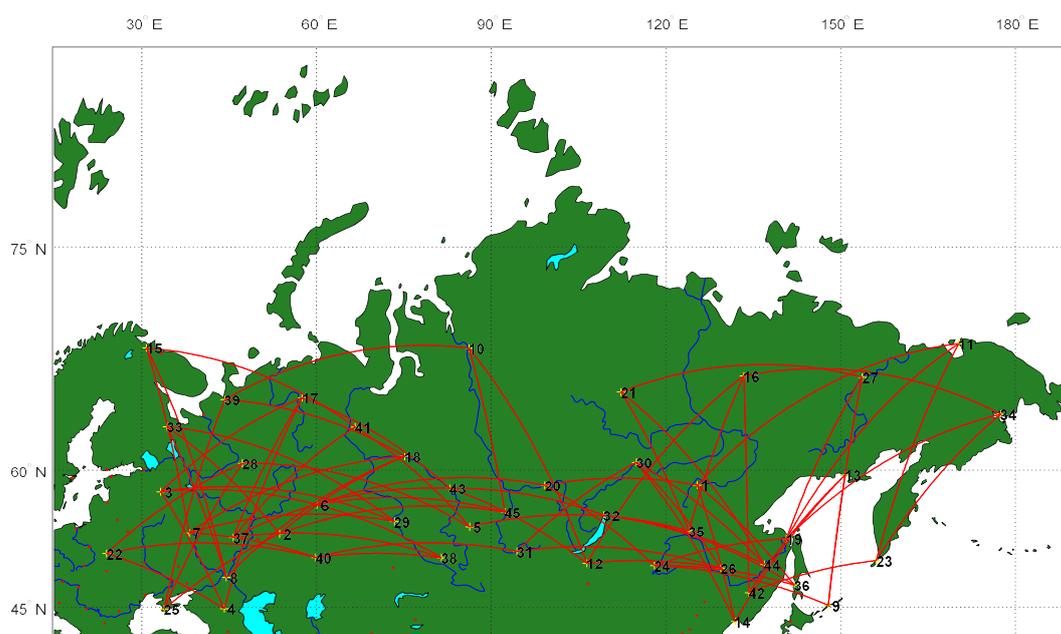


Рис. 3. Топология радиосети на карте Российской Федерации

На рис. 4 показаны фрагменты результирующих таблиц, содержащих значения координат и степеней связанности и дистанций между узлами узлов.

Следует отметить, что от выбора значений входных данных существенно зависят результаты структурного синтеза. Возможны ситуации, когда входные данные противоречат требованиям, предъявляемым к структуре сети. В этом случае, требуется коррекция входных данных.

	Node	Latitude	Longitude	Degree		Node1	Node2	Distance
1	1	58.6095	125.3817	4	1	1	11	2431
2	2	53.6778	53.6473	4	2	1	14	1781
3	3	57.9802	33.2467	4	3	1	20	1513
4	4	44.7815	44.1650	3	4	1	36	1634
5	5	54.4221	86.3037	3	5	2	18	1532
6	6	56.6985	60.0867	4	6	2	25	1741
7	7	53.7707	38.1317	4	7	2	33	1573
8	8	48.7071	44.5169	3	8	2	45	2470
9	9	45.2252	147.8838	3	9	3	4	1649
10	10	69.4031	86.1909	3	10	3	6	1612
11	11	69.7018	170.2999	3	11	3	17	1540
12	12	50.3552	106.4499	4	12	3	29	2457
13	13	59.5682	150.8085	3	13	4	3	1649
14	14	43.1155	131.8855	3	14	4	17	2497
15	15	69.4261	30.8207	3	15	4	22	1673
16	16	67.5502	133.3907	4	16	5	28	2399

Рис. 4. Структурные характеристики синтезированной сети

Функциональная устойчивость радиосети

Обеспечение функциональной устойчивости заключается в сохранении функционирования сетей радиосвязи в условиях мирного времени, в чрезвычайных ситуациях и в условиях чрезвычайного положения.

Устойчивость оценивается вероятностью связности (связность) радионаправления, т. е. вероятностью того, что на заданном радионаправлении существует хотя бы один путь, по которому возможна передача информации с требуемыми качеством и объемом (другое название показателя – «коэффициент оперативной готовности направления»).

Ущерб, наносимый радиосети воздействием внешних дестабилизирующих факторов, оценивается по соотношению вышедших из строя элементов сети к общему числу элементов сети с градациями: 50 % (высокий), 30 % (средний) и 10 % (низкий) [6].

Воздействие внешних дестабилизирующих факторов может приводить к уничтожению линий связи и узлов сети. Моделирование ущерба проводится отдельно для линий связи и узлов.

Оценка степени связанности выполняется с помощью имитационной модели для конкретной топологии сети. В процессе моделирования, случайным образом (с равномерным дискретным законом распределения) в графе сети удаляются элементы сети в объеме 10 %, 30 %, 50 %. Для каждого уровня ущерба выполняется серия экспериментов по генерации случайного графа, в каждом эксперименте осуществляется контроль связанности сети по всем возможным направлениям. Накопленные частоты событий связанности являются оценкой вероятностей связанностей по направлениям (коэффициентов оперативной готовности). Число имитационных экспериментов определяется, исходя из значения доверительной вероятности и требуемой точности оценки показателей.

Расчетная формула оценки числа экспериментов основана на центральной предельной теореме, и для доверительной вероятности 0.95 имеет вид:

$$n \geq 3.8416 \frac{pq}{\varepsilon^2},$$

где p – нормативная вероятность связанности узлов. Согласно ГОСТ Р 53111-2008, значение нормативной вероятности связанности, в зависимости от категорий спецпотребителей и степени ущерба, принадлежит диапазону $[0.7 \div 0.8]$ с градацией 0.05. Для наихудшего случая,

примем $p = 0.7$. Точность оценки вероятности примем $\varepsilon = 0.02$. $q = 1 - p$ – вероятность нарушения связанности направления. Из формулы получим число экспериментов $n \geq 2017$.

Имитационная модель является составной частью программы структурного проектирования радиосети. При разработке модели были введены следующие ограничения:

- на сеть воздействуют внешние дестабилизирующие факторы пространственного действия или многочисленные факторы локального действия;
- воздействие дестабилизирующего фактора на линию связи полностью подавляет связь по этой линии;
- воздействие дестабилизирующего фактора на узел связи подавляет все связи данного узла с соседними;
- случайный граф, образуемый действием дестабилизирующих факторов, выделяется из исходного графа удалением заданного числа линий связи, либо узлов связи;
- выбор удаляемых элементов выполняется через реализацию процесса выбора случайной перестановки с заданным числом элементов;
- закон распределения случайных перестановок равномерный.

На рис. 5 показаны результаты имитационного моделирования коэффициента готовности при 10 % поражении радиоканалов.

Имитационная модель позволяет задать максимальный ранг связанности узлов (число транзитных участков цепи между узлами) и построить гистограмму рангов связанности на множестве пораженных сетей. На рис. 6 показано распределение рангов связанности при 10 % поражении радиоканалов.

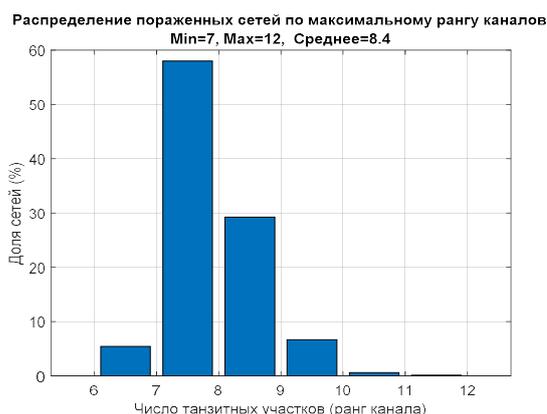


Рис. 5. Функциональная устойчивость радиосети

Рис. 6. Оценка ранга связанности радионаправлений

Заключение

В работе предложен алгоритм автоматического структурного синтеза радиосетей с условиями приоритетного выбора узлов из базы данных их возможного размещения. Алгоритм обеспечивает решение задачи синтеза топологии радиосети с заданным показателем вершинной связанности и с хорошим покрытием территории РФ. Критерием оценки результата структурного синтеза может служить степень функциональной устойчивости топологии сети к внешним деструктивным воздействиям.

Литература

1. Березовский В.А. Современная декаметровая радиосвязь: Оборудование, системы и комплексы / В.А. Березовский, И.В. Дулькейт, О.К. Савицкий. – М.: Радиотехника, 2011. – 444 с.
2. Путилин А.Н., Хвостунов Ю.С. Использование частотного ресурса системой декаметровой связи в режиме псевдослучайной перестройки рабочей частоты // Техника средств связи. 2020. № 3 (151). С. 24-35.
3. Дорогов А.Ю., Потапов И.А., Тутене А.С. Моделирование протоколов беспроводных сетей в среде MatLab // Наукоемкие технологии в космических исследованиях Земли. 2019. Т. 11. № 2. С. 32–50.

4. Дорогов А.Ю., Подранюк Е.П. Имитационная модель и результаты моделирования протокола маршрутизации O2M для низкоскоростных мобильных радиосетей // Техника средств связи. 2020. №4 (152). С.51-59.

5. Дорогов А.Ю., Яшин А.И. Программный комплекс моделирования пакетных радиосетей КВ-диапазона // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2020.Т. 12. № 6. С. 26–37.

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

References

1. Berezovsky V.A., Dulkeit O.K., Savitsky I.V. Modern decimeter radio communication: Equipment, systems and complexes. Moscow. Radio engineering. 2011. 444 p. (in Russian).

2. Putilin A.N., Khvostunov Y.S. Using the frequency resource with a decimeter communication system in the pseudo-random tuning of the operating frequency. Means of Communication Equipment. 2020. No 3 (151). Pp. 24-35. (in Russian).

3. Dorogov A.Yu., Potapov I.A., Tutene A.S. Modeling of wireless network protocols in the MatLab environment. Science-intensive technologies in Earth space research. 2019. Т. 11. № 2. Pp. 32-50. (in Russian).

4. Dorogov A.Yu., Podraniuk E.P. Simulation model and results of modeling the O2M routing protocol for low-speed mobile radio networks. Means of Communication Equipment. 2020. No 4 (152). Pp.51-59. (in Russian).

5. Dorogov A.Yu., Yashin A.I. Software complex for modeling KV-band packet radio networks//Science-intensive technologies in Earth space research. 2020.Т. 12. No 6. Pp. 26-37. (in Russian).

6. GOST R 53111-2008 "Stability of public communication network operation. Verification Requirements and Methods". (in Russian).

Статья поступила 21 августа 2022 г.

Информация об авторах

Яшин Александр Иванович – Д.т.н., профессор. Зам. ген. конструктора – научный руководитель работ ПАО «Интелтех». Тел.: +7-921-987-78-95. E-mail: intelteh@inteltech.ru.

Дорогов Александр Юрьевич – Д.т.н., доцент. Главный научный сотрудник ПАО «Интелтех». Тел.: +7-911-944-58-62. E-mail: a.dorogov@inteltech.ru.

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

Structural Design of Geographically Distributed Short-wave Networks

A.I. Yashin , A.Yu. Dorogov

Annotation: The algorithm of structural design of geographically distributed shortwave radio networks is considered. A software model of the algorithm is presented, which allows synthesis of the network structure with a given number of nodes and taking into account the priority selection of nodes from the database. Examples of structural design of decametrovoltaic network for the territory of the Russian Federation are given. It is proposed to use the criterion of functional stability to assess the network structure. Described is a simulation model for calculating functional stability of a radio network under the influence of destabilizing factors. The results of simulation experiments are given.

Keywords: decimeter waves; shortwave range; distributed radio network.

Information about Authors

Alexander Ivanovich Yashin – D.T.S., Professor. Deputy General Designer - Scientific Supervisor of PJSC «Inteltech». Tel.: +7-921-987-78-95. E-mail: intelteh@inteltech.ru.

Alexander Yuryevich Dorogov – D.T.S., associate professor. Chief Researcher, PJSC «Inteltech». Tel.: +7-911-944-58-62. E-mail: a.dorogov@inteltech.ru.

Address: 197342, Russia, St. Petersburg, 8 Kantemirovskaya St.

Для цитирования: Дорогов А.Ю., Яшин А.И. Структурное проектирование территориально-распределенных радиосетей коротковолнового диапазона // Техника средств связи. 2022. № 3 (159). С. 2-8. DOI: 10.24412/2782-2141-2022-3-2-8.

For citation: Dorogov A.Yu., Yashin A.I. Structural Design of Geographically Distributed Short-wave Networks. Means of Communication Equipment. 2022. No. 3 (159). Pp. 2-8. DOI: 10.24412/2782-2141-2022-3-2-8 (in Russian).

Анализ дальности связи и глубины приема сигналов в сверхдлинных волнах

Акулов В.С., Талагаев В.И., Угрик Л.Н.

Аннотация: В мировой практике для связи с морскими объектами, находящимися на больших расстояниях под водой, широко используются радиолинии сверхдлинноволнового диапазона как гражданского так и военного назначения. Способность сверхдлинных волн распространяться в волноводе «нижняя граница ионосфер-подстилающая поверхность моря» и проникать под воду зависит от множества физических особенностей волновода, видов помех радиоприему и технических параметров антенных и приемных устройств. Существующие методы оценки предельных дальности и глубины подводного приема не в полной мере учитывают ряд важных параметров волновода, радиолиний и условий приема. В работе, с целью уточнения оценок дальности и глубины гарантированного приема сигналов с требуемым качеством, разработана методика и проведен численный анализ дальности и глубины подводного приема для различных физических параметров среды распространения сигналов, технических характеристик радиолиний и условий применения. Результаты работы могут быть использованы исследователями и разработчиками сверхдлинноволновых радиолиний при выборе их технических параметров с учетом требований к качеству передачи сигналов в условиях помех.

Ключевые слова: сверхдлинные волны, дальность связи, глубина приема, качество связи, приемные антенны, помехи..

При анализе предельных дальностей R действия радиолиний в диапазоне сверхдлинных волн (СДВ) обычно ограничиваются ситуацией, когда приемная антенна находится на поверхности моря, а помехи радиоприема являются внешними, главным образом, атмосферными. При этом утверждается, что возможная глубина приема z определяется местными помехами, которые в этих диапазонах, в основном, обусловлены шумами антенного тракта [1]. Эту глубину называют гарантированной, однако достаточно точного метода ее определения не дается.

Целью работы является проведение численного анализа возможных гарантированных глубин подводного радиоприема с заданным качеством, с учетом различных технических параметров радиолинии и условий приема.

При предельных значениях глубины и дальности должно обеспечиваться отношение сигнал/помеха h , необходимое для приема сигнала с заданным качеством, а именно

$$h^2 = E_s^2(R, z) / [\Delta f E_{n1}^2(z)], \quad (1)$$

где $E_s(R, z)$ – модуль напряженности поля сигнала; Δf – эффективная (шумовая) полоса частот приемного устройства; $E_{n1}(z)$ – напряженность поля помех в точке приема, отнесенная к полосе 1 Гц.

В рассматриваемом диапазоне помехи радиоприему складываются из атмосферных шумов $E_{at1}(z)$ и внутренних шумов антенны E_{a1}

$$E_{n1}^2(z) = E_{at1}^2(z) + E_{a1}^2. \quad (2)$$

Поле сигнала и поле атмосферных шумов на глубине испытывают одинаковое экспоненциальное затухание, относительно своих значений на поверхности $E_{s0}(R)$ и E_{at10} , т. е.

$$E_s(R, z) = E_{s0}(R) \exp(-z / \delta_s); \quad E_{at1}(z) = E_{at10} \exp(-z / \delta_s), \quad (3)$$

где δ_s – размер скин-слоя в воде.

С учетом представлений (2) и (3) уравнение (1) разрешается относительно искомой глубины z в конечном виде

$$z = \frac{\delta_s}{2} \ln \left[\frac{E_{s0}^2(R)/h^2 - \Delta f E_{a10}^2}{\Delta f E_{a1}^2} \right]. \tag{4}$$

Внутренние шумы антенны в терминах электрического поля E_{a1} определяются как эквивалентное поле шумов [1]

$$E_{a1} = U_{a1} / h_e, \tag{5}$$

где: U_{a1} – поддающееся непосредственному измерению напряжение шумов в антенне, приведенное к полосе 1 Гц; h_e – действующая (эффективная) высота приемной антенны.

В качестве приемной рассмотрим выпускную кабельную антенну, обеспечивающую возможность расположения объекта на достаточной глубине [2]. Активная часть буксируемой антенны представляет собой прямолинейный отрезок провода геометрической длиной l_a , расположенный при буксировке под углом θ к горизонту, что схематически показано на рис. 1.

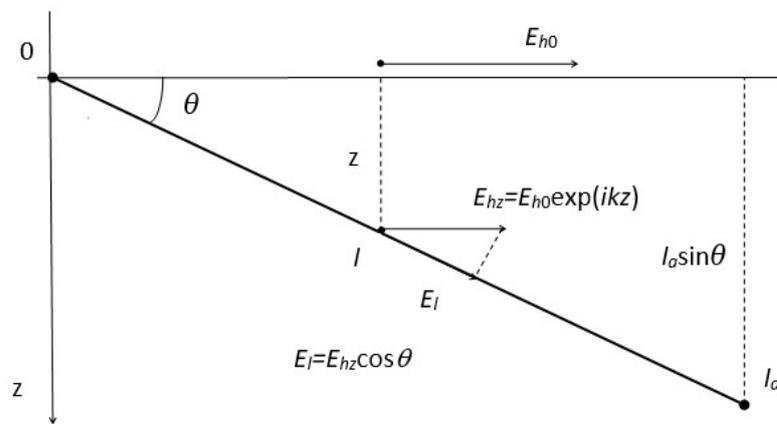


Рис. 1. Схема буксировки выпускной кабельной антенны

Левый (верхний) конец антенны называется ходовым, противоположный конец антенны – коренным. Напряжение в такой антенне возбуждается плоской волной, падающей на границу раздела с амплитудой горизонтальной компоненты E_{h0} , и оно определяется контурным интегралом по активной части антенны [3]

$$U_a = \oint_{(l)} E_l dl. \tag{6}$$

С учетом соотношений, приведенных на рис. 1, из выражения (6) следует действующая длина, относительно горизонтальной компоненты напряженности поля E_{h0} в точке расположения ходового конца антенны

$$l_e = \frac{U_a}{E_{h0}} = \cos \theta \int_0^{l_a} \exp(ikl \sin \theta) dl. \tag{7}$$

Вычисление интеграла (7) дает следующий результат для модуля действующей длины

$$l_e = \frac{\delta_s \operatorname{ctg} \theta}{\sqrt{2}} \sqrt{L(x)}; \tag{8}$$

$$x = \frac{l_a}{\delta_s} \sin \theta; \quad L(x) = 1 - 2 \cos x e^{-x} + e^{-2x}. \tag{9}$$

где δ_s – размер скин-слоя.

Выражения (8) и (9) впервые были получены А.В. Додоновым [1].

При фиксированном значении угла θ , зависимость действующей длины антенны от ее геометрической длины определяется функцией $L(x)$. Эта функция представлена рис. 2. При анализе функции $L(x)$ важно, что параметр $x \sim l_a$. Сначала действующая длина антенны l_e возрастает с увеличением ее геометрической длины l_a , что вполне естественно, поскольку напряжение в антенне формируется на возрастающем по длине активном участке. При $x \approx 1.5$, функция $L(x)$ достигает значения 1 и далее изменяется уже незначительно. Поле, приходящее на участки антенны, соответствующие значениям параметра $x > 1.5 \div 2.0$, уже мало ввиду экспоненциального затухания $\exp(ikz)$. Незначительные осцилляции функции $L(x)$ определяются тем, что подынтегральная функция в выражении (7) комплексна, и интегрирование производится с учетом фазы падающей волны.

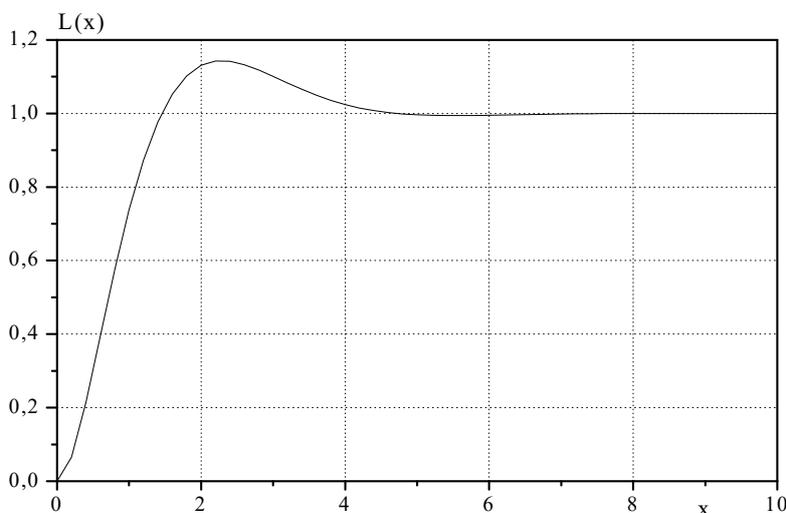


Рис. 2. Зависимость действующей длины антенны от ее геометрической длины

Таким образом, геометрическая длина активной части антенны должна быть такой, чтобы ее коренной конец находился на глубине, равной полутора – двум размерам скин-слоя в воде. При выполнении этого условия можно полагать, что $L(x) = 1$. Это и учитывается при дальнейшем анализе.

В диапазоне СДВ анализ радиотехнических систем обычно выполняют на базе вертикальной компоненты электрического поля над границей раздела сред E_{v0} , которая связана с горизонтальной компонентой поля E_{h0} через приведенный поверхностный импеданс δ [4]

$$E_{h0} = \delta E_{v0}.$$

Для приведения всех процессов (уровня сигнала и шумов) к вертикальной компоненте поля E_{v0} естественным является введение в рассмотрение действующей высоты антенны h_e относительно этой компоненты поля, т. е.

$$h_e = \frac{U_a}{E_{v0}} = |\delta| l_e = |\delta| \frac{\delta_s \operatorname{ctg} \theta}{\sqrt{2}}. \quad (10)$$

Из выражений (5) и (10) следует формула для определения эквивалентного поля шумов выпускной кабельной антенны, приведенного к напряженности поля на поверхности

$$E_{a1} = U_{a1} \cdot 120\pi \sigma \operatorname{tg} \theta, \quad (11)$$

где σ – удельная проводимость воды.

При выводе формулы (11) учитывалось, что

$$\delta_s = \sqrt{\frac{2}{\omega \mu_0 \sigma}}; \quad |\delta| = \sqrt{\frac{\omega \varepsilon_0}{\sigma}}; \quad \sqrt{\frac{\mu_0}{\varepsilon_0}} = 120\pi,$$

где ε_0 и μ_0 – диэлектрическая и магнитная проницаемости свободного пространства.

Угол буксировки θ определяется через скорость v по полуэмпирической формуле

$$\theta_{[\text{град}]} \approx 20 / v_{[\text{уз}]} \quad (12)$$

Результаты расчетов зависимости $z(R)$ по формулам (12), (11) и (4) приведены на рис. 3.

Поле сигнала $E_{s0}(R)$ вычислялось по программам, разработанным Санкт-Петербургским государственным университетом. Данное программное обеспечение учитывает практически все геофизические факторы, такие как неоднородность электрических свойств Земли и ионосферы вдоль трассы распространения, высотный профиль параметров ионосферы на базе современной международной модели, влияние магнитного поля Земли, солнечную активность. Статистические параметры атмосферных шумов определялись по данным МККР (теперь МСЭ) [5-7]. Расчеты выполнены для радиостанции с координатами (64 ° с.ш., 40 ° в.д.) и трассы с азимутом 270 °. Эта трасса направлена на центральную Атлантику, и на расстояниях $R > 2$ Мм она чисто морская.

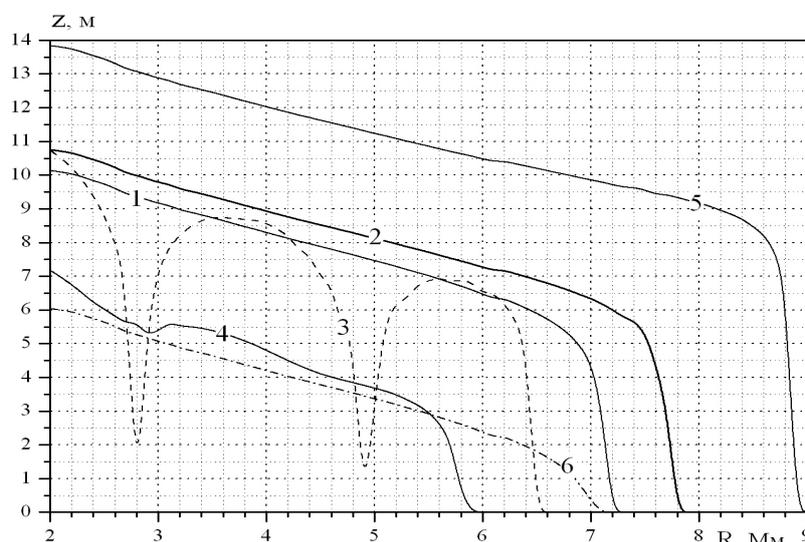


Рис. 3. Результаты расчетов зависимости $z(R)$

Кривые 1, 3, 4 и 5 на рис. 3 получены для излученной мощности $P_{\Sigma} = 500$ кВт, более жирная кривая 2 – для $P_{\Sigma} = 1000$ кВт. Сплошные кривые соответствуют дневной трассе (июнь, 18 ч московского времени), пунктирная кривая 3 – ночной трассе (январь, 6 ч московского времени). Кривые 1-4 рассчитаны для режима быстрой передачи ($\Delta f = 100$ Гц, $h = 3$), кривая 5 – для режима медленной передачи ($\Delta f = 1$ Гц, $h = 3$). Кривая 4 рассчитана для частоты $f = 30$ кГц в дневных условиях, остальные зависимости – для частоты 20 кГц.

Сравнение кривых 1 и 2 показывает, что удвоение мощности передатчика несущественно увеличивает как дальность, так и предельную глубину приема. Кривая 3 осциллирует, что является следствием яркой нерегулярности зависимости $E_{s0}(R)$ на неосвещенных трассах. На частоте 30 кГц (кривая 4) дальности и глубины меньше, чем на частоте 20 кГц, что обусловлено большим затуханием волны вдоль земной поверхности и меньшим размером скин-слоя. Большие дальности и глубины достигаются при режиме медленной передачи, что вполне естественно.

Характерным является быстрое увеличение глубины приема при небольшом уменьшении дальности относительно ее предельного значения при глубине $z=0$. Так, уменьшение дальности на 600 км увеличивает глубину приема на частоте 20 кГц до 6-8 м в зависимости от условий и режима передачи информации. В этом смысле такие глубины можно назвать гарантированными. Следует иметь в виду, что при этом имеет место хотя и небольшое, но заметное снижение дальности от излучателя. Дальнейшее увеличение глубины возможно только при существенном уменьшении дальности.

Эти выводы относятся к кривым 1-5, которые рассчитаны для шумов приемной антенны, существенно более низких, чем внешние атмосферные шумы. Здесь поле местных шумов (11) вычислялось, исходя из чувствительности антенного усилителя $U_{a1}=3\text{ нВ}/\sqrt{\text{Гц}}$. Если значение U_{a1} увеличить в 10 раз, то местные шумы становятся соизмеримыми с уровнем атмосферных шумов, и вместо кривой 1 получается качественно другая кривая 6 (штрих-пунктир). Помимо уменьшения дальностей и глубин, что естественно, в этом случае увеличение глубины приводит к существенному уменьшению предельной дальности. Качественно этот эффект обсуждается в монографии [1], где делается вывод об отсутствии гарантированной глубины приема в этих условиях.

Выводы

Выполненный в работе анализ позволяет сделать некоторые выводы:

1. Предельная глубина приема в диапазоне СДВ существенно зависит от соотношения уровней внешних (атмосферных) шумов и внутренних шумов антенны.
2. При малых внутренних шумах погружение ходового конца выпускной приемной антенны на 6-8 м незначительно (до 600 км) снижает дальность передачи информации.
3. При внутренних шумах, соизмеримых по уровню с атмосферными шумами, незначительное (до 2-3 м) погружение приемной антенны сопровождается существенным уменьшением максимальной дальности.

Разработанная методика повышает точность оценки предельной гарантированных дальности и глубины приема сигналов в СДВ радиолиниях за счет учета дополнительных параметров трассы распространения сигналов, технических характеристик радиолиний, уровней атмосферных шумов, шумов приемных антенн и условий подводного приема на буксируемые антенные устройства.

Литература

1. Додонов А.В., Михеев А.Ф. Подводный радиоприем. М: Военное изд., 1996.
2. Соловьев В.И., Новик Л.И., Морозов И.Д. Связь на море. Судостроение. Л., 1978.
3. Гольдштейн Л.Д., Зернов Н.В. Электромагнитные поля и волны. М: Сов.радио, 1971.
4. Макаров Г.И., Новиков В.В., Рыбачек С.Т. Распространение электромагнитных волн над земной поверхностью. М: Наука, 1991.
5. Отчет 322 МККР. Распределение по Земному шару атмосферных помех и их характеристики. М.: Связь, 1965.
6. NTIA Report 85-173 U.S.Department of Commerce Malcolm Baldrige Secretary Boulder Colorado, 1985.
7. Рекомендации МСЭ-R. P.372.13 (09/2016). Радишум.

References

1. A.V. Dodonov, A.F. Mikheev Underwater Radio. M: Military ed., 1996 (in Russian).
2. Soloviev V.I., Novik L.I., Morozov I.D. Communication at sea. Shipbuilding. L., 1978 (in Russian).
3. Goldstein LD, Zernov N.V. Electromagnetic fields and waves. M: Sov.radio, 1971 (in Russian).
4. Makarov G.I., Novikov V.V., Rybachek S.T. Propagation of electromagnetic waves over the earth's surface. M: Science, 1991 (in Russian).

5. Report 322 of the ICC. Distribution of atmospheric disturbances on the Earth and their characteristics. M.: Communication, 1965 (in Russian).

6. NTIA Report 85-173 U.S. Department of Commerce Malcolm Baldrige Secretary Boulder Colorado, 1985 (in Russian).

7. ITU-R recommendations. R.372.13 (09/2016). Radio noise (in Russian).

Статья поступила 15 июля 2022 г.

Информация об авторах

Акулов Валерий Семёнович – Кандидат технических наук, старший научный сотрудник. Старший научный сотрудник НИЦ ТТ ВМФ КК и СОИ и Р. Тел.: +7(812)542-90-54. E-mail: intelteh@inteltech.ru.

Талагаев Владимир Иванович – Кандидат технических наук, старший научный сотрудник, профессор Академии военных наук. Ведущий научный сотрудник ПАО «Интелтех».

Тел. +7(812) 448-96-50. E-mail: intelteh@inteltech.ru.

Угрик Лариса Николаевна – Кандидат технических наук, старший научный сотрудник. Старший научный сотрудник НИЦ ТТ ВМФ КК и СОИ и Р. Тел.: +7(812)542-90-54. E-mail: intelteh@inteltech.ru.

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

Analysis of communication range and depth of signals reception on ultra-long waves

V.S. Akulov, V.I. Talagaev, L.N. Ugrik

Annotation: *In world practice, ultra-long-wavelength radio links for both civilian and military purposes are widely used to communicate with marine objects located at long distances under water. The ability of ultra-long waves to propagate in a waveguide "lower boundary of ionospheres-underlying sea surface" and penetrate under water depends on many physical features of the waveguide, types of interference with the radio receiver and technical parameters of antenna and receiving devices. The existing methods of estimating the limit range and depth of underwater reception do not fully take into account a number of important parameters of the waveguide, radio links and reception conditions. In order to clarify the estimates of the range and depth of guaranteed reception of signals with the required quality, a methodology was developed and a numerical analysis of the range and depth of underwater reception was carried out for various physical parameters of the signal propagation medium, technical characteristics of radio links and application conditions. The results of the work can be used by researchers and developers of ultra-long-wavelength radio links when choosing their technical parameters, taking into account the requirements for the quality of signal transmission under conditions of interference.*

Keywords: *ultra-long waves, communication range, receiving depth, communication quality, receiving antennas, interference.*

Information about Authors

Valery Semenovich Akulov – Candidate of Technical Sciences. Senior Researcher at the Research Center TT Navy KK and SOI and R. Tel.: +7 (812) 542-90-54. E-mail: intelteh@inteltech.ru.

Vladimir Ivanovich Talagaev – Candidate of Technical Sciences. Senior Researcher, professor of the Academy of Military Sciences. Leading researcher at PJSC «Inteltech». Tel. +7(812) 448-96-50. E-mail: intelteh@inteltech.ru.

Larisa Nikolaevna Ugrik – Candidate of Technical Sciences, senior Researcher. Senior Researcher at the Research Center TT Navy KK and SOI and R. Tel.: +7(812) 542-90-54. E-mail: intelteh@inteltech.ru.

Address: 197342, Russia, St. Petersburg, 8 Kantemirovskaya St.

Для цитирования: Акулов В.С., Талагаев В.И., Угрик Л.Н. Анализ дальности связи и глубины приема сигналов на сверхдлинных волнах // Техника средств связи. 2022. № 3 (159). С. 9-14. DOI: 10.24412/2782-2141-2022-3-9-14.

For citation: Akulov V.S., Talagaev V.I., Ugrik L.N. Analysis of communication range and depth of signals reception on ultra-long waves. Means of Communication Equipment. 2022. No. 3 (159). Pp. 9-14. DOI: 10.24412/2782-2141-2022-3-9-14 (in Russian).

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

УДК 621.376.9; 004.942; 519.876.5

DOI: 10.24412/2782-2141-2022-3-15-20

Построение эквалайзера для радиомодема в диапазоне коротких волн

Шапгала В. С.

Аннотация: Технология мультиплексирования с ортогональным частотным разделением каналов упрощает реализацию приёмной части радиомодема, поскольку часто нет необходимости коррекции импульсной характеристики канала связи. Например, для относительно фазовой модуляции не имеет значения мгновенная фаза и амплитуда принимаемого сигнала. Но когда идёт речь о реализации когерентного приёма более сложных видов модуляции то коррекция импульсной характеристика канала связи необходима, особенно когда идёт речь о последовательных модемах, где единичный элемент сигнала занимает всю ширину полосы. В статье ставится **задача** коррекции амплитудных и фазовых искажений радиоканала при помощи фильтра с бесконечной импульсной характеристикой. **Целью работы** является создание модели радиомодема с эквалайзером который настраивается по известной последовательности. При моделировании используются **методы** цифровой обработки сигналов, компьютерного моделирования и теории связи. **Новизна** решения состоит в обобщении результатов выравнивания импульсной характеристики КВ радиоканала для различных режимов прохождения радиоволн. К **результатам** работы следует отнести программный моделирующий стенд в виде объектно-ориентированного кода для вычислительной среды технических расчетов MATLAB. **Практическая значимость** работы заключается в том, что определены границы применения описанного способа для коррекции искажений в канале. Результаты работы могут использоваться при разработке аппаратуры передачи данных для радиосвязи.

Ключевые слова: относительно-фазовая модуляция, ортогональное частотное разделение каналов, квадратурная амплитудная модуляция, эквалайзер.

Введение

Радиосвязь в коротковолновом (КВ) диапазоне за счет больших длительностей трасс часто является единственной альтернативой спутниковой связи, но сложная помеховая обстановка и высокая загруженность спектра не позволяют создавать высокоскоростные радиомодемы. Традиционные скорости 1200 – 4800 бит/с в канале тональной частоты достигаются с использованием дифференциальных видов модуляции, например относительно-фазовой модуляции (ОФМ). При реализации более высокоскоростных режимов работы радиомодема необходимо добавлять модуляцию по амплитуде для увеличения размерности сигнального созвездия. Многолучевое распространение сигнала приводит к частотно-селективным замираниям и поэтому для приема амплитудной составляющей в модуляции необходимо выравнивать амплитудно-частотную характеристику (АЧХ).

Дифференциальные виды модуляции снижают скорость передачи, поскольку требуют опорную посылку для вычисления разницы фаз. Для линейных модемов опорная посылка не вносит вклад в декремент скорости, фактически это только задержка на длительность единичного элемента сигнала в отличие от пакетных модемов, где этот вклад нельзя недооценивать. Технология последовательного расширения спектра сигнала (*FHSS – frequency-hopping spread spectrum*) эффективно борется и с нестабильностью радиосвязи в КВ диапазоне, и с преднамеренными помехами, но поскольку длительность слота должна быть минимальной, то опорная посылка может приводить к декременту от 25 % до 33 %. Для отказа от опорной посылки требуется переход к видам модуляции, которые требуют когерентного приёма, что в свою очередь требует выравнивания группового времени замедления (ГВЗ) в демодуляторе.

Исходя из вышесказанного в демодуляторе необходимо скомпенсировать импульсную характеристику канала связи, что приведёт к коррекции АЧХ и фазочастотной характеристики (ФЧХ), что позволит осуществить демодуляцию сложного сигнального созвездия. Подобную работу в радиомодеме выполняет эквалайзер, исследованию которого и посвящена эта работа.

Описание модема и моделирующий стенд

Для исследования выбран широко используемый в КВ радиоканале радиомодем с ортогональным частотным разделением каналов (*OFDM – orthogonal frequency-division multiplexing*). При правильном выборе количества подканалов такой способ позволяет работать без эквалайзера для ОФМ, поскольку в пределах одного подканала искажения ГВЗ можно не учитывать. В нашем случае параллельный модем позволяет проще оценивать степень коррекции принятого сигнала, за счет того, что для демодуляции применяется преобразование Фурье, которое хорошо иллюстрирует работу эквалайзера. Используются два типа модуляции: ОФМ и квадратурная амплитудная модуляция (КАМ). На примере этих видов модуляций можно видеть и компенсацию поворота, и выравнивание амплитуды сигнального созвездия.

Модем работает с комплексным сигналом на частоте дискретизации 6400 Гц. Используется 32 частотных подканала, разнос частот между которыми составляет 100 Гц, что соответствует 128 точкам преобразования Фурье, длительность посылки 12,5 мс.

Моделирование происходит в системе технических расчетов *MATLAB*. Структурная схема моделирования представлена на рис. 1.

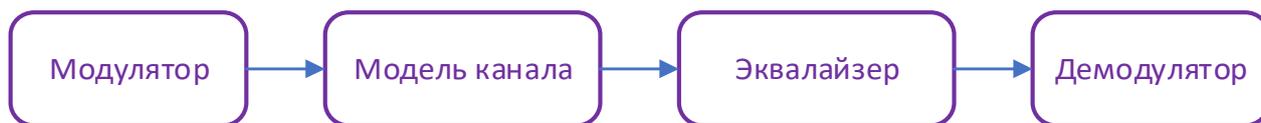


Рис. 1. Программный моделирующий стенд

Модель канала соответствует рекомендации *ITU-R F.1487* [1], которая построена на базе модели Ваттерсона [2]. Для коррекции ГВЗ используется фильтр с бесконечной импульсной характеристикой (БИХ). Для оценки импульсной характеристики канала связи на его вход подается дельта-функция и на основании полученных результатов рассчитывается БИХ фильтр для компенсации искажений. После этого сигнал радиомодема подается на вход канала связи с симметричными характеристиками и проверяется работа корректора на основе БИХ фильтра, оценивается сигнальное созвездие и коэффициент ошибок. За счёт того, что программным способом можно смоделировать два полностью одинаковых канала связи можно говорить о применимости результатов оценки по дельта-функции к исследуемому сигнальному созвездию.

В реальности этот метод не применим, поскольку необходимо определять импульсную характеристику по пилот-сигналу или по информационному сигналу. Оба этих способа значительно усложняют моделирование. Например, при использовании пилот-сигнала уменьшается информационная скорость и необходимо учитывать, что характеристики канала связи после известной последовательности могут измениться. Оценка импульсной характеристики по информационному сигналу, которая основывается на его корреляционных признаках является самым предпочтительным способом работы, но и самым алгоритмически и вычислительно сложным.

Ни один из этих способов нельзя начать использовать без умения создавать эквалайзер. Именно поэтому основная цель работы состоит в исследовании того, как выглядит импульсная характеристика сложного КВ радиоканала и насколько эффективным может быть применение эквалайзера.

Вычисление коэффициентов фильтра эквалайзера

Как было сказано выше, для выравнивания ГВЗ используется БИХ фильтр. Этот фильтр рассчитывается при помощи функции $fdesign.arbgrpdelay(N,F,Gd)$, которая использует итерационную процедуру для минимизации ошибки ГВЗ, подробнее см. в [3]. Для её работы необходимо задать 3 аргумента: порядок фильтра, вектор частот и вектор ГВЗ. Необходимо принимать во внимание, что алгоритм расчёта фильтра не всегда сходится.

Результаты моделирования

На рис. 2 – 4 представлены графики ГВЗ для трех основных типов канала из [1]: *good channel*, *moderate channel* и *poor channel*. На изображении слева это характеристика ГВЗ на выходе модели КВ канала, а справа характеристика ГВЗ после работы эквалайзера. Видно, что чем хуже условия распространения, тем сложнее выравнивать ГВЗ в рабочей области частот от 0 до 0,5. Также на рисунках очень хорошо видно, как увеличивается частотная селективность замираний. На оси ординат задержка в отсчетах сигнала, что соответствует, примерно, 156 мкс.

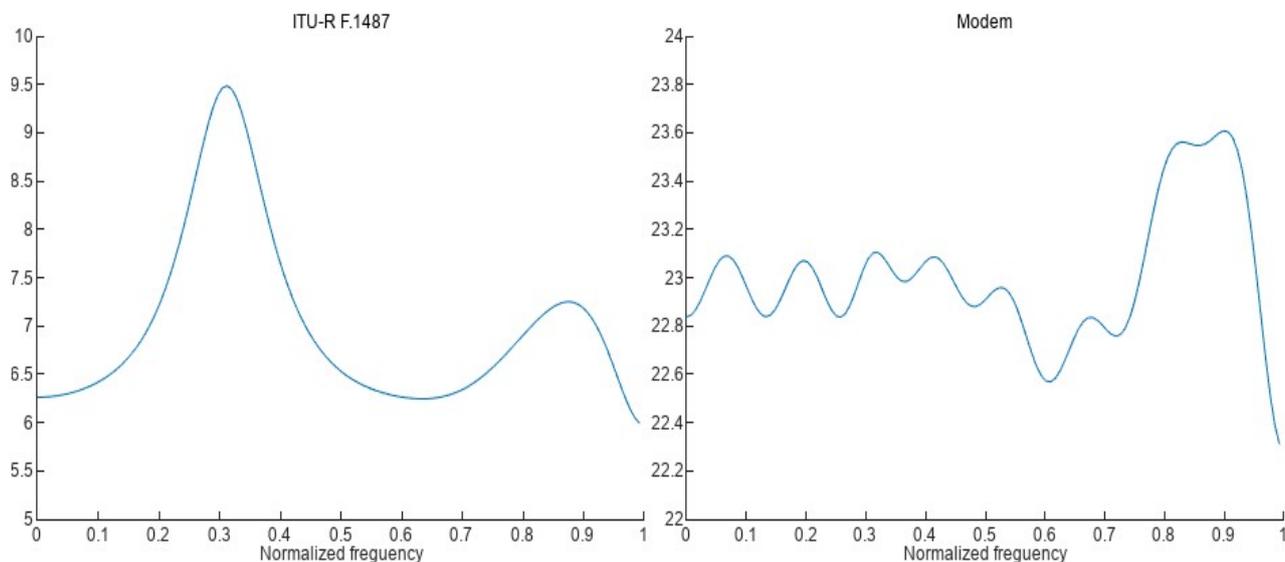


Рис. 2. *Good channel*

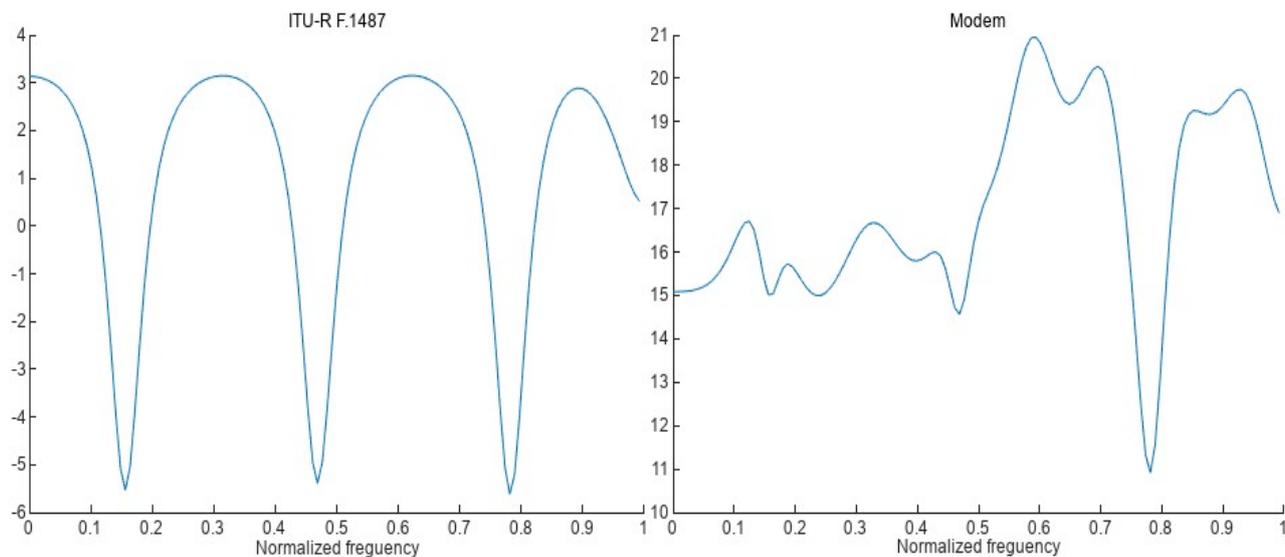


Рис. 3. *Moderate channel*

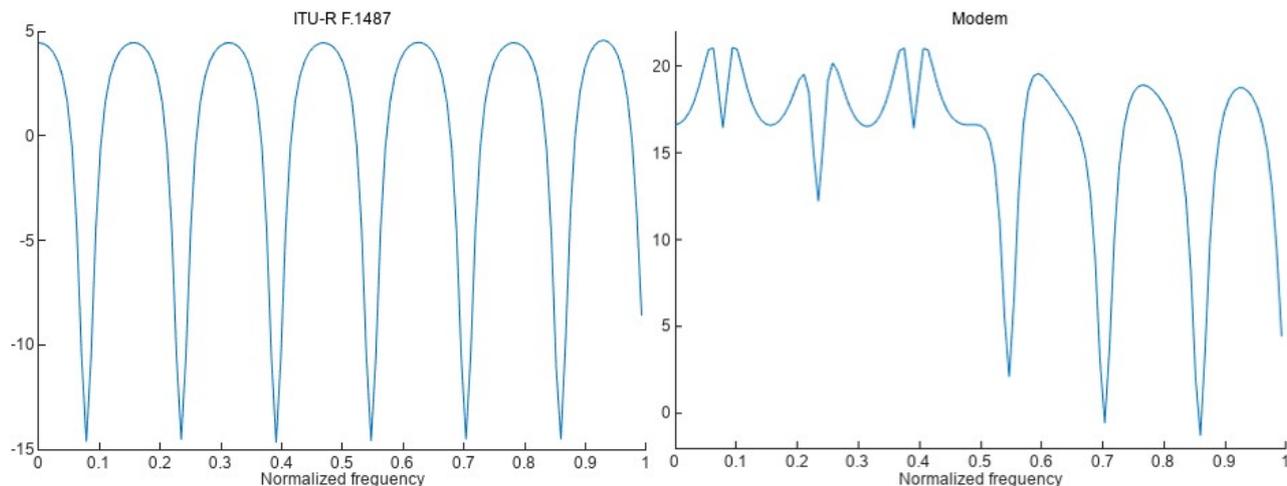


Рис. 4. Poor channel

На рис. 5 – 7 представлены графики сигнального созвездия: слева на передающей стороне, а справа на выходе канала связи (синие кружки) и после работы эквалайзера (красные крестики). Видно, что с ухудшением условий распространения добиться эффективной компенсации смещения точек сигнального созвездия уже не получается.

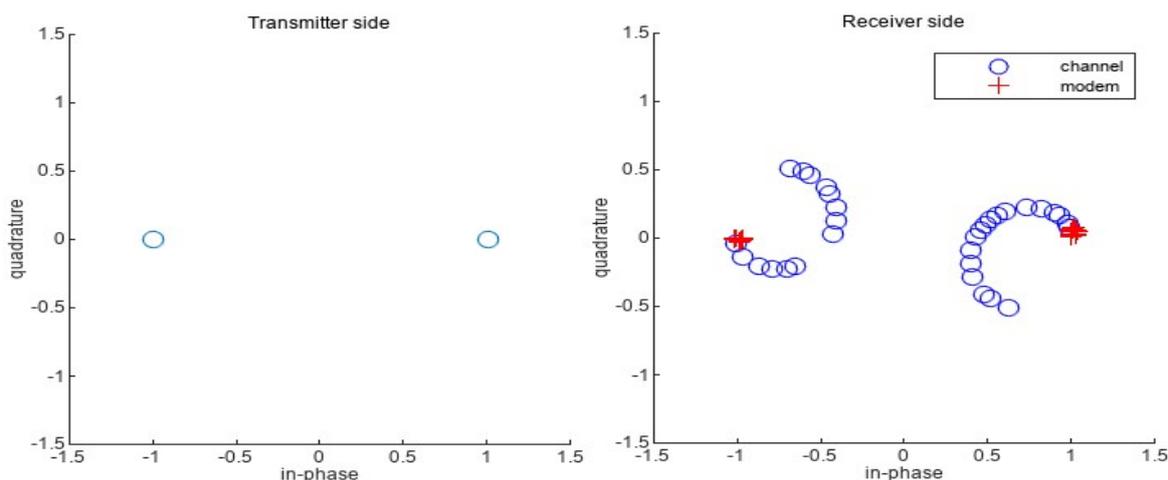


Рис. 5. Good channel

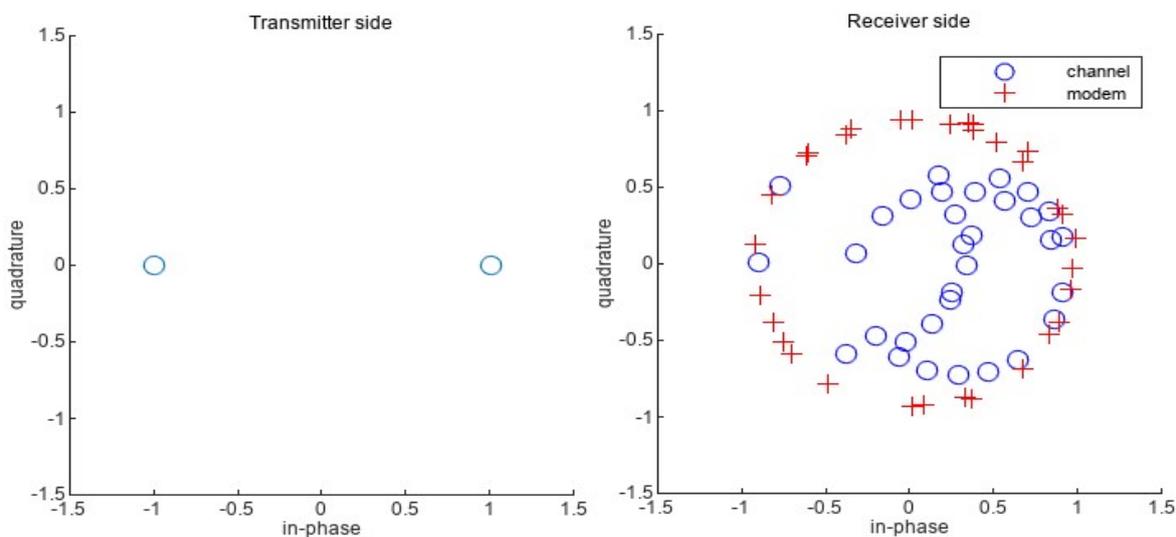
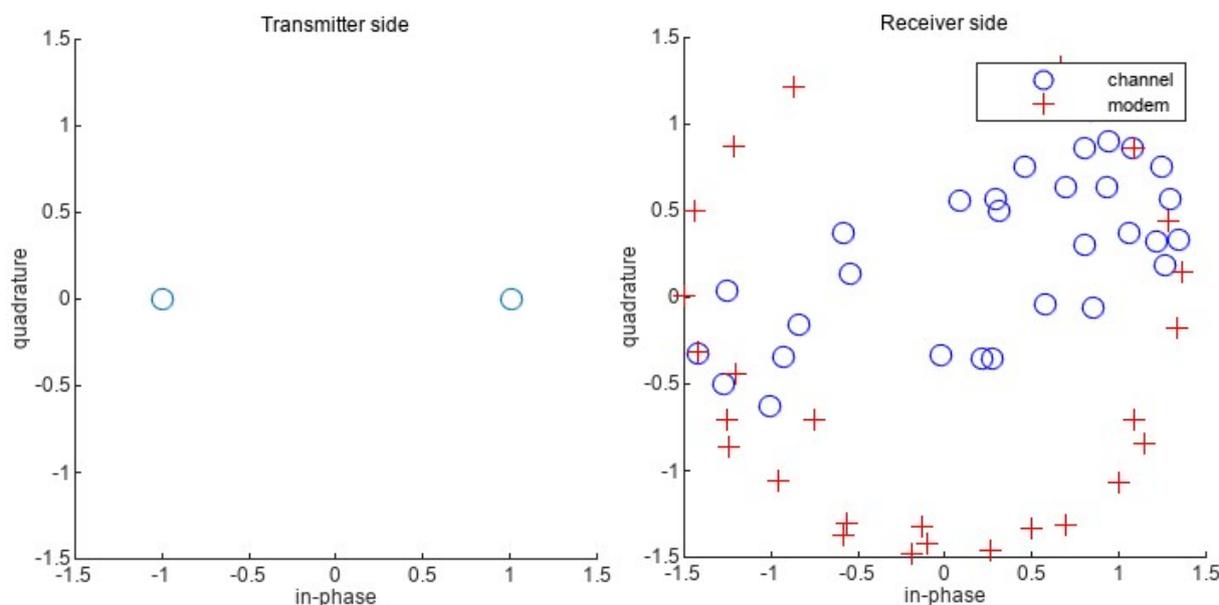


Рис. 6. Moderate channel

Рис. 7. *Poor channel*

Выводы

В ходе экспериментов было определено среднее время вычисления коэффициентов БИХ фильтра, см. табл. 1. Длительность посылки, как описано выше, 12,5 мс, поэтому для работы в режиме реального времени рассматриваемый алгоритм не подходит – требуется оптимизация по скорости, как минимум, в 100 раз. Также в табл. 1 указано количество посылок, для которых не получилось вычислить коэффициенты фильтра корректора ГВЗ. Это значение меняется от запуска программы, но оно хорошо иллюстрирует тот факт, что для особо сильных искажений, как правило, не удастся создать необходимый корректирующий фильтр. Длительность всех экспериментов – 200 посылок.

Таблица 1 – Результаты моделирования

Порядок фильтра	8	16	32
Среднее время вычисления коэффициентов БИХ фильтра, с	0.24	0.58	1.41
<i>Good channel</i> , количество ошибок	12	56	13
<i>Moderate channel</i> , количество ошибок	4	31	3
<i>Poor channel</i> , количество ошибок	19	37	13

Разработанное программное обеспечение позволяет в среде *MATLAB* исследовать искажения сигнала при распространении по КВ каналу, анализируя множество характеристик: АЧХ, ФЧХ, ГВЗ, импульсную характеристику, сигнальное созвездие на выходе канала связи и после коррекции; коэффициенты фильтра и результаты профилирования. Поддерживаются ОФМ и КАМ модуляция. Размерность созвездия от 2 до 64 точек.

Реализован способ определения минимальной размерности БИХ-фильтра – рекурсивный алгоритм, который последовательно подбирает подходящую длину фильтра в диапазоне от 8 до 48 с шагом 2.

Метод *fdesign.arbgrpdelay* не позволяет эффективно компенсировать искажения ГВЗ для большинства каналов из рекомендации *ITU-R F.1487*. Применим только для условно медленных замираний – *Good channel*.

Литература

1. ITU-R F.1487: Testing of HF modems with bandwidths of up to about 12 kHz using ionospheric channel simulators, 2000.
2. C. C. Watterson, J. R. Juroshek, and W. D. Bensema, "Experimental confirmation of an HF channel model," IEEE® Trans. Commun. Technol., vol. COM-18, no. 6, Dec. 1970.
3. Antoniou, A. Digital Signal Processing: Signals, Systems, and Filters., New York: McGraw-Hill, 2006, pp. 719–771.

References

1. ITU-R F.1487: Testing of HF modems with bandwidths of up to about 12 kHz using ionospheric channel simulators, 2000.
2. C. C. Watterson, J. R. Juroshek, and W. D. Bensema, "Experimental confirmation of an HF channel model," IEEE® Trans. Commun. Technol., vol. COM-18, no. 6, Dec. 1970.
3. Antoniou, A. Digital Signal Processing: Signals, Systems, and Filters., New York: McGraw-Hill, 2006, pp. 719–771.

Статья поступила 18 августа 2022 г.

Информация об авторе

Шаптала Василий Сергеевич – Начальник лаборатории ПАО «Интелтех», кандидат технических наук. Область научных интересов: цифровая обработка сигналов в телекоммуникационных системах. E-mail: shaptalavs@inteltech.ru.
Адрес: 197342, г. Санкт-Петербург, Кантемировская ул., д.8, тел. 8(812)448-19-01.

An equalizer for shortwave radio modem

V.S. Shaptala

Annotation: *The orthogonal frequency division multiplexing simplifies development of receiver part of radio modem, because sometimes it is unnecessary to correct impulse response of radio channel. For example, for differential phase shift key modulation, the instantaneous phase and amplitude of the received signal does not matter. But when we speak about coherent types of demodulations, we must correct the impulse response especially for radio modems which don't use frequency sub channels. The article aims to correct the amplitude and phase distortions of the radio channel by an infinite impulse response filter. The main goal of this work is to create a model of the radio modem with an equalizer which is configured by a known sequence. In modeling, methods of communication theory and digital signal processing are used. The novelty of the solution is to compare the alignment of group time delay for a different types of radio channels. The result of the work is software modeling stand, which runs in MATLAB. The practical significance of the work is to determine the boundaries of usage described method of equalization. The results of the work are possible to use in the development of data transmission equipment for radio communications.*

Keywords: *relative-phase modulation, orthogonal frequency channel separation, quadrature amplitude modulation, equalizer.*

Information about Author

Shaptala Vasily Sergeevich – Head of laboratory PJSC “Inteltech”, Ph.D. of Engineering Sciences. Scientific interests: digital signal processing in telecommunication systems. E-mail: shaptalavs@inteltech.ru.
Address: Russia, 197342, Saint-Petersburg, Kantemirovskaya street 8, tel. 8(812) 448-19-01(12-15).

Для цитирования: Построение эквалайзера для радиомодема в диапазоне коротких волн // Техника средств связи. 2022. № 4. С. 15-20. DOI: 10.24412/2782- 2141-2022-3-15-20.

For citation: Shaptala V.S. An equalizer for shortwave radio modem. Means of communication equipment. 2022. No 4. Pp. 15-20. DOI: 10.24412/2782- 2141-2022-3-15-20 (In Russian).

СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

УДК 623.618.5

DOI: 10.24412/2782-2141-2022-3-21-29

Применение программного обеспечения при решении управленческих задач в общей структуре технического обеспечения связи и автоматизированной системы управления

Мегера Ю.А.

Аннотация. Постановка задачи: В статье решается задача сокращения времени, отведенного на восстановление работоспособного состояния техники связи и автоматизированных систем управления за счет сбора, обработки и анализа информации о ее техническом состоянии при боевых повреждениях и отказах, поддержки принятия решений должностным лицом органа управления техническим обеспечением и автоматизацией, что существенно увеличивает возможности ремонтного органа по восстановлению техники связи и автоматизированных систем управления и поддержания ее на требуемом уровне. При этом **целью работы** является повышение эффективности функционирования системы ремонта техники связи и автоматизированных систем управления соединений (частей) управления (связи) при взаимодействии с сервисными предприятиями оборонно-промышленного комплекса в операциях. К используемым **методам** в работе можно отнести: методы математического программирования, методы решения задач массового обслуживания, методы теории вероятности и математической статистики и др. **Новизной работы** является то, что разработанная модель в отличие от существующих учитывает коэффициент квалификации ремонтников, уровень автоматизации выполняемых операций и обеспеченности диагностическим оборудованием, что позволяет обеспечить рациональное распределение сил и средств ремонтных органов в зависимости от вида и объема проводимых работ. В методику введен коэффициент поражения техники связи и автоматизированных систем управления, определяющий вид ремонта, что сокращает последующую дефектацию этой техники ремонтными органами и определяет необходимый состав сил и средств для ее восстановления. Предлагается сформировать смешанные группы ремонта техники связи с привлечением специалистов сервисных предприятий оборонно-промышленного комплекса на основе расчетов весовых коэффициентов, определяющих трудозатраты на выполнение работ с учетом времени на ремонт, стоимости ремонта, коэффициента технической готовности. К основным **результатам** работы можно отнести программный комплекс «Программа расчёта возможных потерь вооружения и военной техники в ходе боевых действий и возможностей ремонтных органов по их восстановлению» по реализации алгоритмов работы должностных лиц органов управления техническим обеспечением и автоматизации как инструмента системы поддержки принятия решения в мирное и военное время, предназначенный для моделирования условий обстановки, состава сил и средств, расчёта возможных потерь вооружения и военной техники в ходе боевых действий, а также расчёта возможностей ремонтных органов по восстановлению вооружения и военной техники и определения вида ремонта от количества поврежденных электронных модулей различного уровня разукрупнения. **Практическая значимость** состоит в том, что разработанный научно-методический аппарат позволяет обосновать рациональный вариант организации процесса функционирования системы ремонта техники связи и автоматизированных систем управления соединений (частей) связи при взаимодействии с сервисными предприятиями оборонно-промышленного комплекса, доведен до программной реализации, определена структура системы ремонта техники связи с учетом организационно-технического построения, и требования к ней.

Ключевые слова: техническое обеспечение, система ремонта, военное управление, автоматизированная система управления.

В настоящее время Россия столкнулась с целой серией фундаментальных геополитических, политических, экономических и военных вызовов. Большинство из этих вызовов не предусматривались реализуемыми ранее сценариями развития страны или, по крайней мере, считались относительно маловероятными.

Угрозы и риски, возникшие после начала специальной военной операции на Украине, резкое обострение отношений с США и рядом европейских стран, ухудшение геополитической обстановки на западных рубежах России фактически привели к возрождению ситуации холодной войны. Вырисовывается перспектива длительного и всестороннего противостояния с наиболее развитыми странами мира, причем противостояния с усилением роли военных аспектов, а, точнее – с опорой на военный потенциал [1].

Трансформация характера вооруженной борьбы – непрерывный процесс, и все военные конфликты последних десятилетий существенно отличались друг от друга. Изменяется само содержание военных действий, возрастает их пространственный размах, повышаются напряженность и динамичность. Сокращаются временные параметры подготовки и ведения операций. Отмечается переход от последовательных и сосредоточенных действий к непрерывным и распределенным, ведущимся одновременно во всех сферах противоборства, а также на удаленных театрах военных действий (ТВД).

При этом важно отметить, что успех боевых действий во многом зависит от эффективности функционирования систем технического и тылового обеспечения [2].

Широкое внедрение современных информационных технологий, цифровых телекоммуникационных сетей обеспечивает основу создания системы управления техническим обеспечением связи (ТОС) и автоматизированной системы управления (АСУ) на основе единой системы связи и интегрированной в единое информационное пространство управления войсками и оружием.

Для обеспечения успешного решения управленческих задач в системе ТОС и АСУ необходимо:

- определить организацию взаимодействия системы ТОС и АСУ Вооруженных сил (ВС) Российской Федерации (РФ) с системами технического обеспечения связи и АСУ других силовых министерств (ведомств) России;

- максимально унифицировать типовые интерфейсы, стыки, алгоритмы и режимы работы в средствах диагностирования и комплексах связи наземного, воздушного, морского и космического эшелонов системы связи ВС РФ;

- оснащение пунктов управления осуществлять на основе программно-технических комплексов, реализованных на единых системотехнических решениях, в едином информационном пространстве, которые совместно с применяемыми в ВС РФ средствами связи образуют единую автоматизированную систему управления техническим обеспечением ВС РФ;

- выделить ресурс специалистов соответствующей квалификации в интересах отдела связи ТОС и АСУ для восстановления программной части оборудования связи после программных отказов по заявкам.

Решение управленческих задач в системе ТОС и АСУ и применение программного обеспечения позволяет прогнозировать сокращение времени, отведенного на восстановление работоспособного состояния техники связи (ТС) и АСУ за счет сбора, обработки и анализа информации о техническом состоянии ТС и АСУ при боевых повреждениях и отказах, поддержки принятия решений должностным лицом органа управления (ОУ) ТОС, что существенно увеличивает возможности ремонтного органа по восстановлению ТС и АСУ и поддержания ее на требуемом уровне.

При агрегатном методе восстановления поврежденной ТС и АСУ, трудоемкость их ремонта может определяться объемом поврежденной области, то есть долей поврежденных электронных модулей (ЭМ) определенного уровня от их общего количества в образце ТС и АСУ и зависит от иерархического уровня ЭМ, заменой которых осуществляется ремонт данного образца, показано на рис. 1.

Исходя из этого, необходимо иметь аппарат количественной оценки вероятностей поражения ЭМ каждого уровня иерархии, при известном объеме ЭМ ТС и АСУ конкретного типа [3]. То есть, задача состоит в определении количества ЭМ высших уровней иерархии

при известном объеме поврежденной области техники связи (доле поврежденных ЭМ низшего уровня от их общего количества).

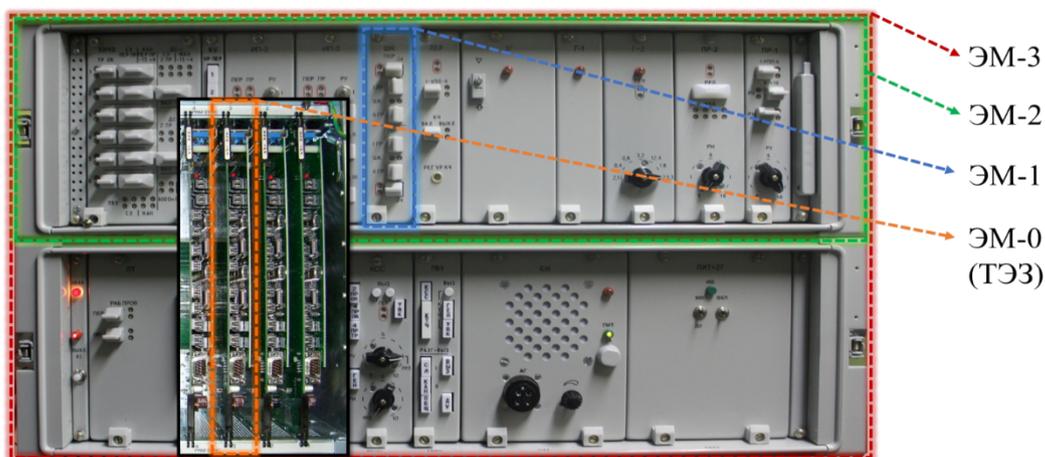


Рис. 1. Уровни разукрупнения техники связи и АСУ

Решение этой задачи возможно построить следующим образом. Каждый образец ТС и АСУ, после его повреждения или эксплуатационного отказа в ходе боевых действий, может потребовать ремонт i -го ЭМ с некоторой вероятностью $P_i(t)$. С учетом того, что события, связанные с эксплуатационным отказом i -го ЭМ или его боевым повреждением являются независимыми, но совместными, выражение для вероятности ремонта i -го ЭМ можно представить в следующем виде:

$$P_i(t) = 1 - (1 - P_{in}(t)) \cdot (1 - P_{is}(t)), \tag{1}$$

где $P_i(t)$ – вероятность ремонта; $P_{in}(t)$ – вероятность отказа на ЭМ i -го типа при боевом повреждении техники связи, содержащей определенное количество ЭМ нижнего уровня иерархии; $P_{is}(t)$ – вероятность эксплуатационного отказа ЭМ i -го типа за время t , в ходе операции.

Вероятность отказа ЭМ i -го типа, по причине эксплуатационных отказов, определяется характеристиками надежности элементов ЭМ и в предположении простейшего потока отказов может быть определена выражением

$$Q_{is}(t) = 1 - \exp(-\Lambda_i \cdot t), \tag{2}$$

где Λ_i – параметр потока отказов ЭМ i -го типа, определяемый выражением:

$$\Lambda_i = \sum_{j=1}^a \lambda_i \cdot n_i, \tag{3}$$

где λ_i – интенсивность отказов ЭРИ i -го типа; n_i – количество ЭРИ i -го типа в j -том ЭМ; a – количество типов ЭРИ в j -том ЭМ.

Определение степени боевых повреждений с учетом их множественного характера представим в виде совокупности ЭМ, образующих структуру образца ТС и АСУ, в виде непересекающихся подмножеств $A_0, A_1, A_2, \dots, D_d$ каждое из которых содержит состояния ТС и АСУ с различным количеством неработоспособных ЭМ, показано на рис. 2. Так, подмножество A_0 соответствует состоянию, когда все N^M ЭМ работоспособны, подмножество A_1 содержит все возможные состояния образца ТС и АСУ, когда поврежден только один ЭМ, A_2 – два поврежденных ЭМ и т. д., D_d – соответствует состоянию ТС и АСУ, когда в ней повреждены все N^M ЭМ.

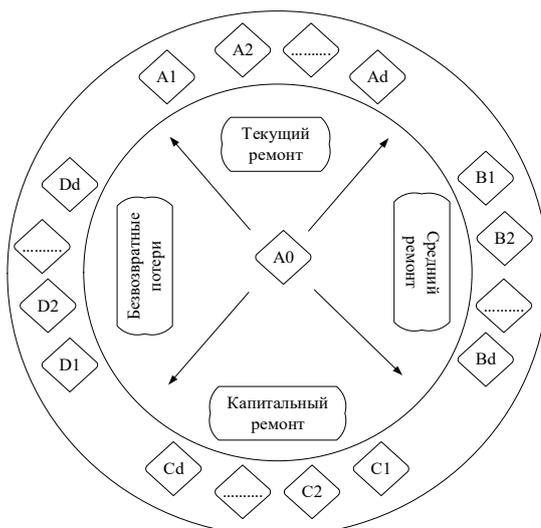


Рис. 2. Непересекающиеся подмножества $A_0, A_1, A_2, \dots, D_d$

Для классификации поврежденной техники связи и АСУ по видам требуемого ремонта введем допустимое относительное число поврежденных в системе ЭМ l -го уровня для каждого вида ремонта – ε . Алгоритм определения вида ремонта ТС и АСУ представлен на рис. 3. При этом, значение η определим из выражения

$$\eta_\varepsilon = \frac{n_{in}}{N_l^M}, \tag{4}$$

где ε – текущий, средний, капитальный ремонты – $\eta_{ТР}, \eta_{СР}, \eta_{КР}$, n_{in} – абсолютное количество поврежденных ЭМ l -го уровня, при котором производится ε – вид ремонта, N_l^M – общее количество ЭМ l -го уровня.

При $\eta < \eta_{ТР}$ поврежденная техника связи и АСУ может быть восстановлена проведением на ней текущего ремонта.

Если $\eta_{ТР} < \eta \leq \eta_{СР}$ техника связи и АСУ подлежит восстановлению путем проведения на ней среднего ремонта.

При $\eta_{СР} < \eta \leq \eta_{КР}$ техника связи и АСУ подлежит восстановлению путем проведения на ней капитального ремонта.

При $\eta_{КР} < \eta$ техника связи и АСУ относится к безвозвратным потерям.

Зная для образца техники связи и АСУ общее количество ЭМ рассматриваемого уровня, можем определить максимальное количество ЭМ, подлежащих замене, при проведении конкретного вида ремонта, используя выражение вида:

$$N_{K \max}^M \leq N_l^M \cdot \eta_\varepsilon. \tag{5}$$

Соответственно:

$1 < N_K^M \leq A_d$ – техника связи и АСУ подлежит текущему ремонту;

$B_1 < N_K^M \leq B_d$ – техника связи и АСУ подлежит среднему ремонту;

$C_1 < N_K^M \leq C_d$ – техника связи и АСУ подлежит капитальному ремонту;

$C_d < N_K^M$ – техника связи и АСУ относится к безвозвратным потерям.

Для практической реализации методики оценки эффективности процесса функционирования системы ремонта ТС и АСУ в условиях взаимодействия с сервисными предприятиями ОПК, создан программный комплекс [4, 5].

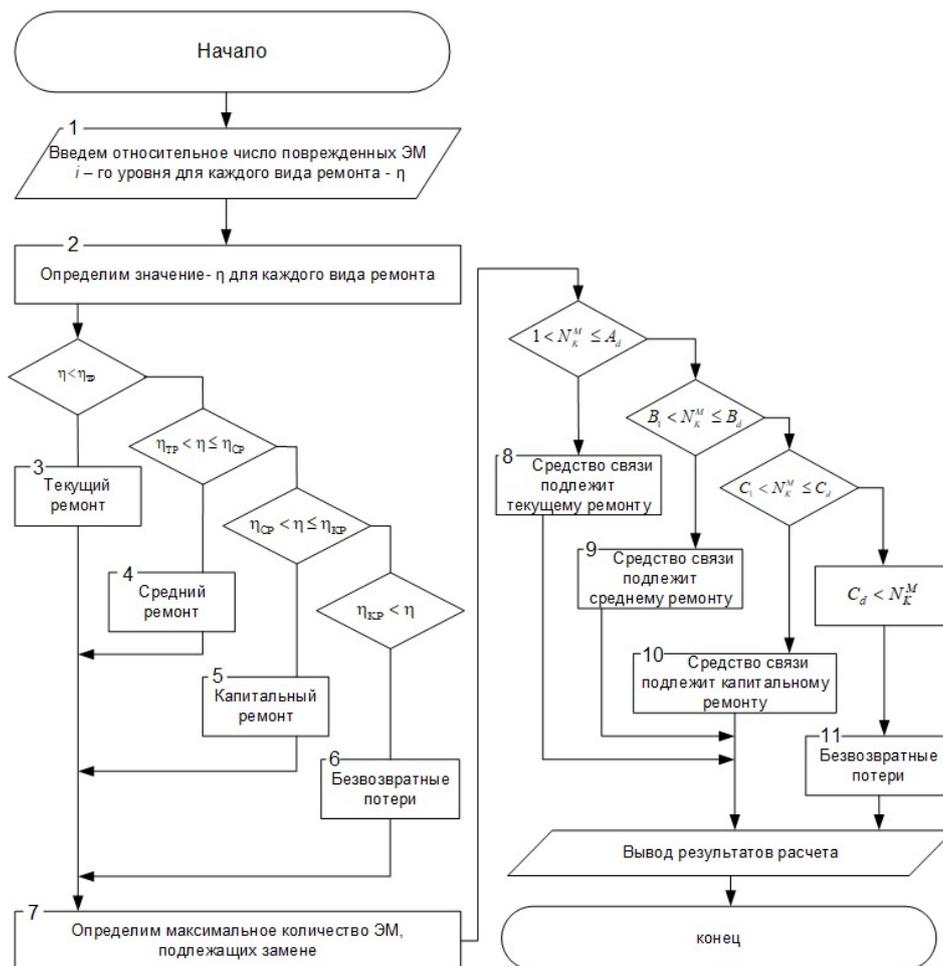


Рис. 3. Алгоритм определения вида ремонта ТС и АСУ

Последовательность действий должностного лица ОУ ТОС и АСУ при принятии решения приведен на рис. 4.

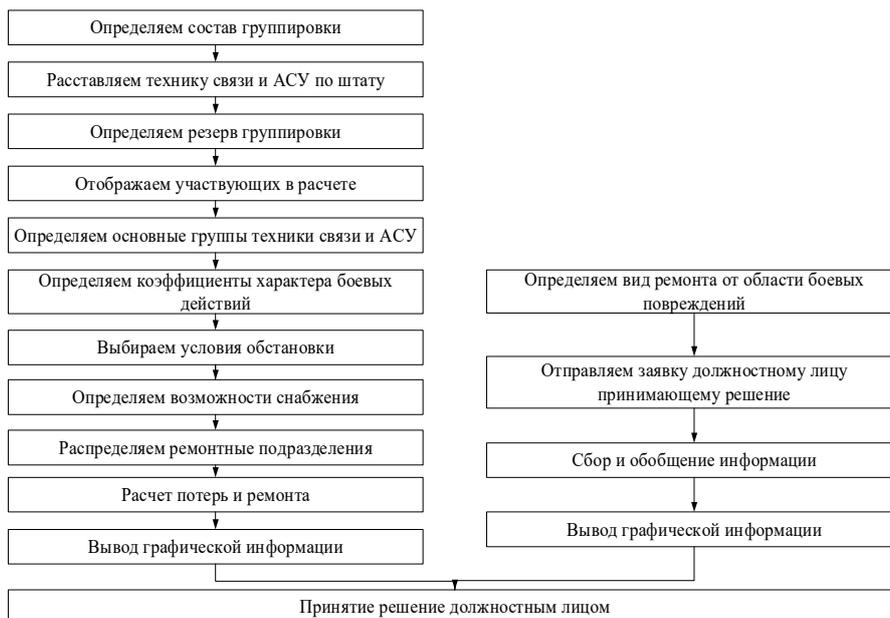


Рис. 4. Последовательность действий должностного лица ОУ ТОС и АСУ при принятии решения при подготовке и в ходе операции

Фрагменты работы программного комплекса при принятии решения в подготовительный период представлены на рис. 5 – 14.

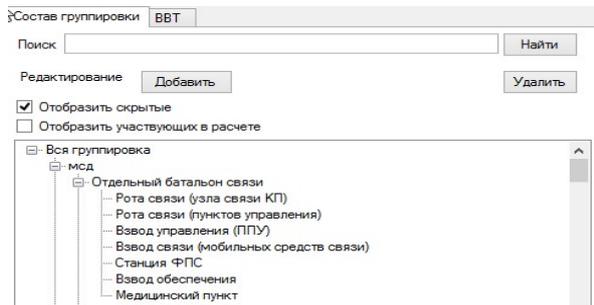


Рис. 5. Вкладка «Состав группировки»

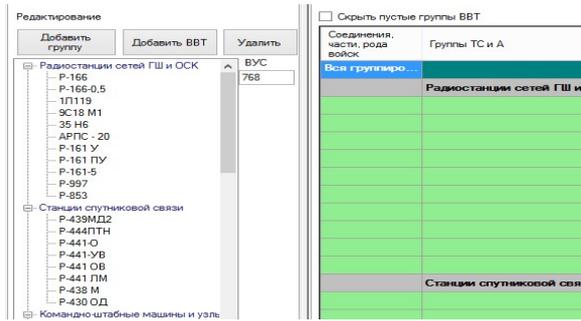


Рис. 6. Вкладка «ВВТ»

ВВТ связи	По штату	В наличии	Резерв	В наличии (без резерва)	Обеспечен
P-166-0.5	52	52	4	48	100%
P-166	112	112	1	111	100%
1П119	8	8	1	7	100%
9С18 М1	1	1		1	100%
35 Н6	1	1		1	100%
P-997	19	19		19	100%

Рис. 7. Определение резерва техники связи

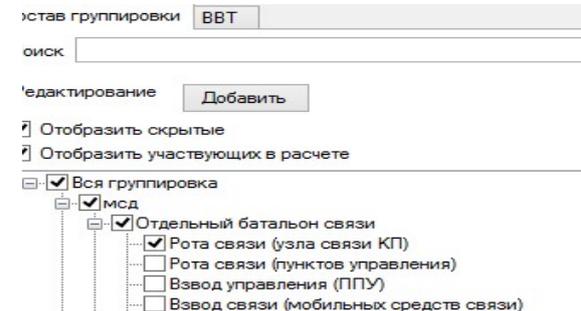


Рис. 8. Определение участников операции

Основная	День
<input checked="" type="checkbox"/>	Радиостанции сетей ГШ и ОСК
<input checked="" type="checkbox"/>	Станции спутниковой связи
<input type="checkbox"/>	Командно-штабные машины и узлы управления
<input type="checkbox"/>	Радиорелейные и тропосферные станции
<input type="checkbox"/>	Аппаратные ПУС
<input type="checkbox"/>	Радиостанции ТЗУ
<input checked="" type="checkbox"/>	АТС, ДУ, ЧДС, ФПС, аппаратные-электропитающи...
<input checked="" type="checkbox"/>	Шифровальная аппаратура связи
<input type="checkbox"/>	Кабель
<input checked="" type="checkbox"/>	Автоматизированные системы связи
<input type="checkbox"/>	Средства механизации и ремонта (аппаратные тех...

Рис. 9. Основные группы ВВТ

Тип подразделения	Направление	Вид БД
В целом по ГВ на ТВД	ЗСН	Наступление
Узловые соединения, части свя...	ЗСН	Контрнаступление
Линейные соединения, части св...	ЗСН	Наступление
В целом по ГВ на ТВД	ЗСН	Оборона
Специальные и тыловые части, ...	ЗСН	Оборона
Специальные и тыловые части, ...	ЗСН	Оборона

Рис. 10. Вкладка «Условия обстановки»

ВВТ	Количество
P-149МА1	7
БТР -80	3
Т-90АК	1
БМП-2	2

Рис. 11. Вкладка «параметры снабжения»

Должность	Специальность
Мастер	Рс Б и С и
Мастер	ЗАС
Мастер	ЗАС

Рис. 12. Вкладка «Параметры ремонта»

$P=1-(1-2.25 \cdot 0.16)=0.36$

Группа ВВТ	ВВТ	По штату	В наличии	Резерв	На (без резерва)
Радиостанци...	Коэф.=0,8	15	11	0	15
	P-166	15	11		15
Станции спут...	Коэф.=0,8	50	38	0	50
	P-439МД2	50	38		50
Командно-шт...	Коэф.=0,75	290	241	4	286
	P-149МА1	100	85	2	98
	Т-90АК	40	33		40
	БМП-2	60	49	1	59
	БТР -80	90	74	1	89

Рис. 13. Вкладка «Расчет потерь и ремонта»

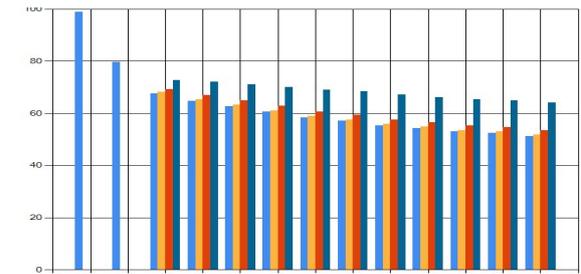


Рис. 14. Вкладка «График»

Фрагменты работы программного комплекса в ходе операции приведены на рис. 15 – 20.

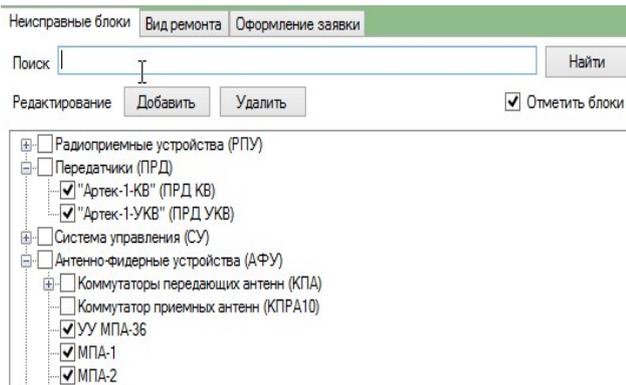


Рис. 15. Отметка «Неисправные блоки»



Рис. 16. Вкладка «Вид ремонта»

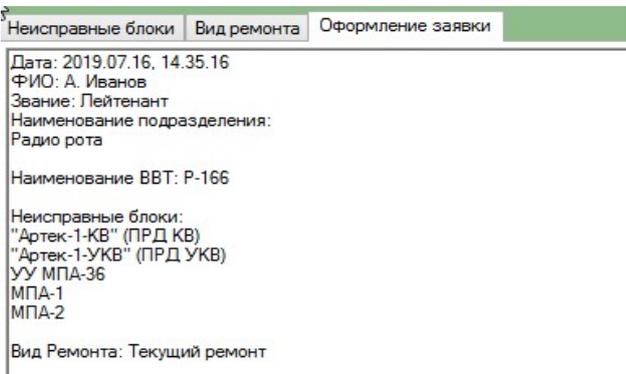


Рис. 17. Вкладка «Оформление заявки»

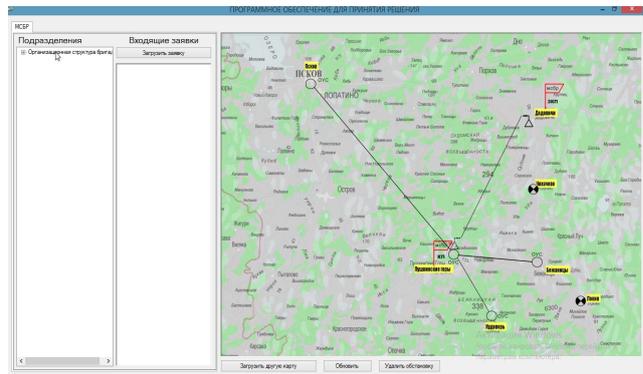


Рис. 18. Вкладка «Подразделения»

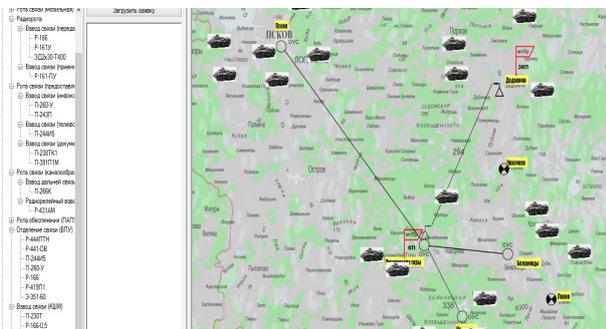


Рис. 19. Размещение техники связи на карте



Рис. 20. Вкладка «Входящие заявки»

Применение программного обеспечения позволяет прогнозировать сокращение времени, отведенного на восстановление работоспособного состояния ТС и АСУ в среднем на 3 часа 30 минут за счет сбора, обработки и анализа информации о техническом состоянии ТС и АСУ при боевых повреждениях и отказах, поддержки принятия решений должностным лицом ОУ ТОС, что существенно увеличивает возможности ремонтного органа по восстановлению ТС и АСУ и поддержания ее на требуемом уровне.

Поправочный коэффициент введенный в программный комплекс «Программа расчёта возможных потерь вооружения и военной техники в ходе боевых действий и возможностей ремонтных органов по их восстановлению» позволяет детализировать время ремонта ТС и АСУ на 40 %, за счет обученности персонала и применения диагностического и технологического оборудования для ремонта образцов ТС и АСУ, что ведет к уменьшению времени на восстановление ТС и АСУ.

Программный комплекс «Программа расчёта возможных потерь вооружения и военной техники в ходе боевых действий и возможностей ремонтных органов по их восстановлению»

выполненный в программной оболочке *Visual Studio 10* по реализации алгоритмов работы ДЛ ОУ ТСО и АСУ как инструмент системы поддержки принятия решения в мирное и военное время предназначен для моделирования условий обстановки, состава сил и средств, расчёта возможных потерь вооружения и военной техники в ходе боевых действий, а также расчёта возможностей ремонтных органов по восстановлению вооружения и военной техники и определения вида ремонта от количества поврежденных электронных модулей различного уровня разукрупнения.

Литература

1. Герасимов В.В. Современные войны и актуальные вопросы обороны страны // Вестник Академии военных наук. 2017. № 2. С. 11-17.
2. Слипченко В.И. Войны шестого поколения. URL: <https://www.rulit.me/books/vojny-shestogo-pokoleniya-read-13793-1.html> (дата обращения: 12.04.2022).
3. Мегера Ю.А. Математическая модель ремонта техники связи и автоматизированных систем управления // Известия ТулГУ. Технические науки. 2021. Вып. 9. С. 34 – 37.
4. Мегера Ю.А. Определение вида ремонта техники связи и автоматизированных систем управления «ОВР ТС и АСУ». Свидетельство № 2020615264. Роспатент. Зарегистрировано 19.05.2020.
5. Мегера Ю.А. Программа расчета возможных потерь ВВТ в ходе боевых действий и возможностей ремонтных органов по их восстановлению. Свидетельство № 2020615210. Роспатент. Зарегистрировано 19.05.2020.

References

1. Gerasimov V.V. *Sovremennye vojny i aktual'nye voprosy oborony strany* [Modern wars and actual issues of defense of the country]. Bulletin of the Academy of Military Sciences. 2017. № 2. p. 11-17 (in Russian).
2. Slipchenko V.I. *Vojny shestogo pokoleniya* [Wars of the sixth generation]. URL: <https://www.rulit.me/books/vojny-shestogo-pokoleniya-read-13793-1.html> (date of access: 12.04.2022) (in Russian).
3. Megera Y.A. *Matematicheskaya model' remonta tekhniki svyazi i avtomatizirovannyh sistem upravleniya* [Mathematical model of repair of communication technology and automated control systems]. Izvestiya TulGU. Technical sciences. 2021. V. 9. Pp. 34 – 37 (in Russian).
4. Megera Y.A. *Opredelenie vida remonta tekhniki svyazi i avtomatizirovannyh sistem upravleniya «OVR TS i ASU»* [Determination of the type of repair of communication equipment and automated control systems "OVR CU and ACS"]. Certificate No 2020615264. Rospatent. Registered 5/19/2020 (in Russian).
5. Megera Y.A. *Programma rascheta vozmozhnyh poter' VVT v hode boevykh dejstvij i vozmozhnostej remontnyh organov po ih vosstanovleniyu* [Program for calculating the possible losses of the VVT during hostilities and the possibilities of repair bodies to restore them]. Certificate No 2020615210. Rospatent. Registered 5.19.2020 (in Russian).

Статья поступила 11 августа 2022 г.

Информация об авторе

Мегера Юрий Анатольевич – Кандидат военных наук. Заместитель начальника отдела ПАО «Интелтех». Тел.: +7 (812) 448-96-36. E-mail: yamegera1971@mail.ru. Адрес: 197342, г. Санкт-Петербург, ул. Кантемировская, д.8.

Application of software in solving management tasks in the general structure of technical support of communication and automated control system

Yu.A. Megera

Annotation. *Problem statement: The article solves the problem of reducing the time allotted to restore the operational state of communication equipment and automated control systems by collecting, processing and analyzing information about its technical condition in case of combat damage and failures, decision-making support by an official of the technical support and automation management body, which significantly increases the capabilities of the repair body to restore equipment communication and automated control systems and maintaining it at the required level. At the same time, the aim of the work is to increase the efficiency of the functioning of the communication equipment repair system and automated control systems of control connections (parts) when interacting with service enterprises of the military-industrial complex in operations. The methods used in the work include: methods of mathematical programming, methods of solving queuing problems, methods of probability theory and mathematical statistics, etc. The novelty of the work is that the developed model, unlike the existing ones, takes into account the qualification coefficient of repairmen, the level of automation of operations performed and the availability of diagnostic equipment, which allows for a rational distribution of forces and means of repair bodies, depending on the type and volume of work carried out. The method introduces the coefficient of damage to communication equipment and automated control systems, which determines the type of repair, which reduces the subsequent deflection of this equipment by repair bodies and determines the necessary composition of forces and means for its restoration. It is proposed to form mixed groups for the repair of communication equipment with the involvement of specialists from service enterprises of the military-industrial complex based on calculations of weighting coefficients that determine the labor costs for performing work, taking into account the time for repairs, the cost of repairs, and the coefficient of technical readiness. The main results of the work include the software package "Program for calculating possible losses of weapons and military equipment during combat operations and the capabilities of repair bodies for their restoration" for the implementation of algorithms for the work of officials of technical support and automation management bodies as a tool for decision support in peacetime and wartime, designed to simulate the conditions of the situation, the composition of forces and means, calculation of possible losses of weapons and military equipment during combat operations, as well as calculating the capabilities of repair bodies for the restoration of weapons and military equipment and determining the type of repair from the number of damaged electronic modules of various levels of unbundling. The practical significance lies in the fact that the developed scientific and methodological apparatus allows us to substantiate a rational variant of the organization of the functioning of the communication equipment repair system and automated control systems of communication connections (parts) in interaction with service enterprises of the military-industrial complex, brought to software implementation, the structure of the communication equipment repair system is determined taking into account the organizational and technical structure, and the requirements for it.*

Keywords: *technical support, repair system, military management, automated control system.*

Information about the author

Yuri Anatolyevich Megera – Candidate of Military Sciences. Deputy chief of the department of PJSC «Inteltech». Tel.: +7 (812) 448-96-36. E-mail: yamegera1971@mail.ru.

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

Для цитирования: Мегера Ю.А. Применение программного обеспечения при решении управленческих задач в общей структуре технического обеспечения связи и автоматизированной системы управления // Техника средств связи. 2022. № 3 (159). С. 21-29. DOI: 10.24412/2782-2141-2022-3-21-29.

For citation: Megera Yu.A. Application of software in solving management problems in the general structure of CBT and ACS. Means of Communication Equipment. 2022. No. 3 (159). Pp. 21-29. DOI: 10.24412/2782-2141-2022-3-21-29 (in Russian).

УДК 621.317

DOI: 10.24412/2782-2141-2022-3-30-52

Методика функционального контроля средств радиосвязи автоматизированного радицентра

Голунов М.В.

Аннотация. В настоящей методике показано, что при применении резервирования, именно интервал неправильного функционирования средств радиосвязи оказывает основное влияние на их коэффициент готовности, и благодаря адаптации радиоволнового метода неразрушающего контроля к функциональному контролю радиосредств это влияние удастся сократить. Определение данного интервала является логическим продолжением модели процесса контроля технического состояния средств радиосвязи, в которой предварительно произведена оценка достоверности, точности и полноты функционального контроля. **Цель работы** заключается в обеспечении требуемых значений коэффициентов готовности средств радиосвязи автоматизированного радицентра, за счет своевременной и достоверной идентификации их вида технического состояния (правильности функционирования) при ограниченных ресурсах средств контроля. **Новизна:** разработанная методика отличается от известных тем, что в ней произведен учет интервала неправильного функционирования средств радиосвязи при обеспечении требуемого значения их коэффициента готовности. **Результат:** в методике осуществлена поэтапная реализация целевой установки и получено математическое выражение для своевременной идентификации технического состояния средств радиосвязи. **Практическая значимость** заключается в возможности осуществить переход от плано-предупредительной стратегии технического обслуживания радиосредств на автоматизированном радицентре к техническому обслуживанию по фактическому техническому состоянию, благодаря своевременной и достоверной идентификации их вида технического состояния.

Ключевые слова: функциональный контроль, техническое состояние, параметрический отказ, средства радиосвязи, надежность, вероятность ошибки.

1. Постановка задачи на разработку методики функционального контроля средств радиосвязи автоматизированного радицентра

Целью разрабатываемой методики является обеспечение требуемых значений коэффициентов готовности средств радиосвязи (СРС) автоматизированного радицентра (АРЦ) [1] за счет своевременной и достоверной идентификации вида технического состояния (ТС) (правильности функционирования [2, 3]) радиосредств, при ограниченных ресурсах средств контроля (СК).

Объект методики – средства радиосвязи АРЦ.

В качестве предмета методики рассматриваются методы и технологии контроля технического состояния (КТС) СРС.

Исходными данными для методики являются: наличие СРС АРЦ в виде совокупности радиоприемных (РПУ) и радиопередающих (РПДУ) устройств, включая резервные комплекты, их тактико-технические и надежность характеристики, требуемое значение коэффициента готовности $K_{г\text{треб}}$ СРС, перечень контролируемых параметров и среднее время T^* (априорная статистическая величина) выхода их значений за пределы допусков.

Выходные данные: информация, с требуемой достоверностью о ТС СРС Δb_i (РПУ), g_i^2 (РПДУ) в процессе функционирования, с численной оценкой, интервал времени τ между процедурами контроля технического состояния (КТС) радиосредств, обеспечение условия

$$\max K_{г}(\tau) \geq K_{г\text{треб}}.$$

Для решения поставленной задачи, методику функционального контроля (ФК) средств радиосвязи АРЦ целесообразно разбить на следующие этапы:

- 1) формирование базы данных (БД) пороговых значений показателей качества функционирования (ПКФ) СРС ($g_{i\text{ пор}}^2, \Delta\beta_{i\text{ пор}}$) АРЦ;
- 2) формирование базы состояний (БС) измерителя коэффициентов подобия сигналов (ИКПС) $h_i(t)$;
- 3) функциональный контроль СРС АРЦ;
- 4) обеспечение требуемого значения коэффициента готовности $K_{г\text{ треб}}$ СРС АРЦ за счет своевременной $\tau = \arg\{\max_{\tau/T \leq 1} K_r(\tau)\}$ и достоверной $\max_{g_{\text{пор}}^2 \in g^2(x_j)} D(g_{\text{пор}}^2)$ идентификации вида ТС.

Постановка задачи на разработку методики представлена на рис. 1, в виде общей схемы а) и схемы с разбиением ее на этапы – б), на которой обозначены: 1, 2, 3, 3*, 4 – этапы методики, где 3* означает, что третий этап методики осуществляется, в том числе, на взаимодействующих (противоположных) АРЦ*; БД АРЦ – база данных АРЦ, осуществляющая взаимодействие с БД передающего (ПДРЦ) и приемного (ПРЦ) радиоцентров; КСА ПДРЦ (ПРЦ) – комплекс средств автоматизации ПДРЦ (ПРЦ); Θ_j – перечень контролируемых параметров с допусками $\Delta\Theta_j, (j \in \{1, s\})$, где s – количество контролируемых параметров; $g_{i\text{ ТГ}}^2, (i \in \{1, \dots, u\}; T_s \in \{T_{31}, \dots, T_{3v}\}; f \in \{f_1, \dots, f_q\})$ – матрица значений ПКФ РПДУ размером $T_{3v} \times f_q$, где n – количество видов применяемых сигналов, v – количество длительностей элементов T_s применяемых сигналов, q – количество контролируемых частот f ; среда РРВ – среда распространения радиоволн.

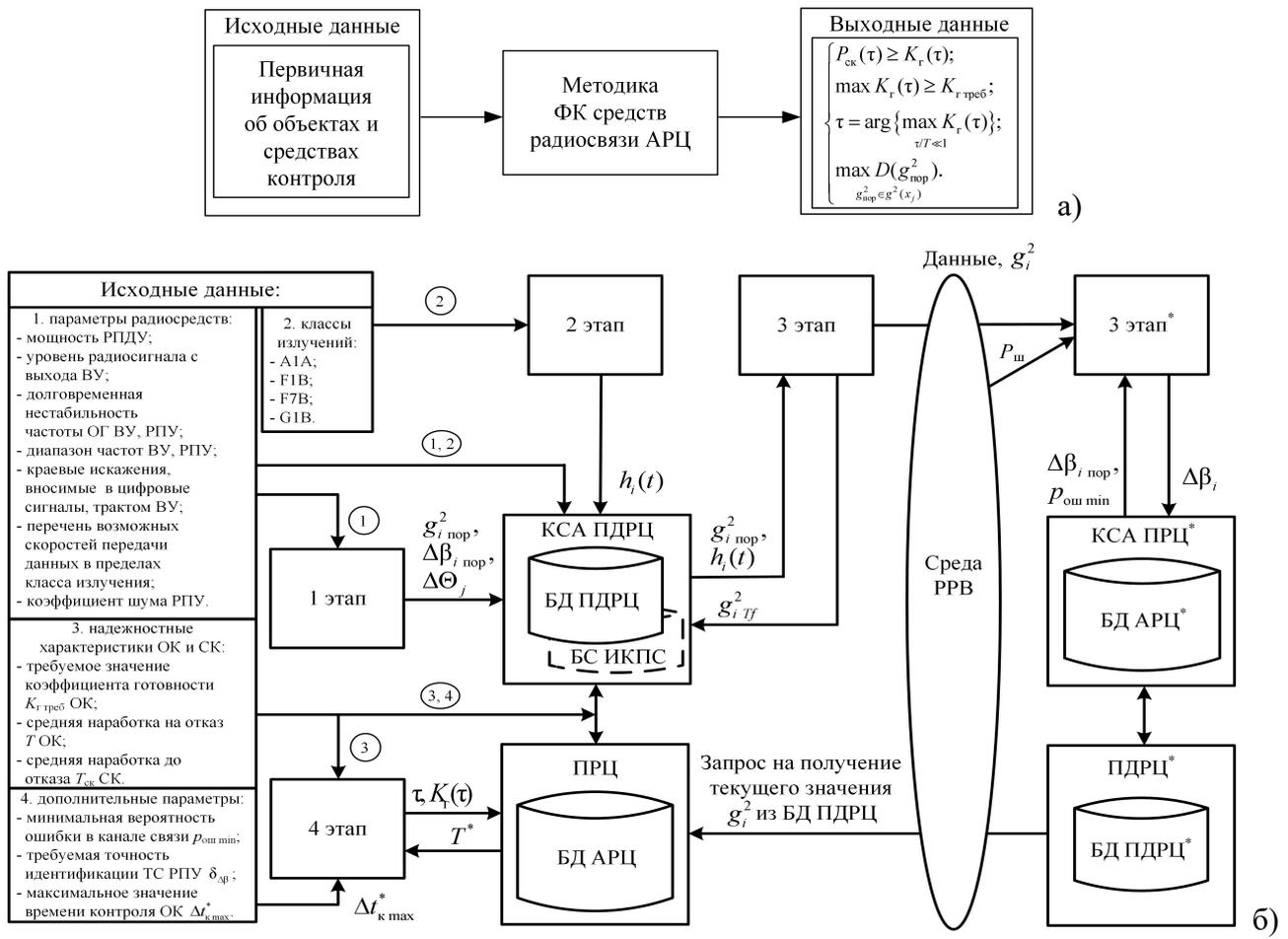


Рис. 1. Постановка задачи на разработку методики в виде общей схемы а) и схемы с ее разбиением на этапы б)

2. Первый этап методики по формированию базы данных пороговых значений показателей качества функционирования средств радиосвязи автоматизированного радиоцентра

Для достижения высокой достоверности КТС радиосредств, благодаря внедрению предлагаемой методики, необходимо произвести предварительный анализ видов применяемых в СРС сигналов и осуществить настройку средств ФК.

В работах [4, 5] произведена оценка методической погрешности КТС СРС по ПКФ, с учетом наличия ошибок контроля первого и второго рода, где представлена геометрическая интерпретация зависимости ПКФ от контролируемых параметров в виде эллипса (эллипсоида) качества, вписанного в параметрический прямоугольник (параллелепипед). В результате, для минимизации методической погрешности КТС радиосредств по ПКФ необходимо:

1) произвести анализ технической документации на контролируемые СРС и определить исходные данные. *Например:* классы излучения РПДУ *A1A* (АТ), *F1B* (ЧТ), *G1B* (ОФТ), мощность РПДУ P (Вт), уровень радиосигнала с выхода возбуждательного устройства (ВУ) U (В), долговременную нестабильность частоты опорного генератора (ОГ) ВУ (РПУ) $\delta_{ог}$, диапазон частот ВУ (РПУ) $\Delta f_d = f_{max} - f_{min}$ (кГц), краевые искажения, вносимые в цифровые сигналы, тракт ВУ η (%), перечень скоростей передачи данных в пределах класса излучения РПДУ (РПУ) $B \in \{1, \dots, v\}$ (Бод), коэффициент шума РПУ $K_{ш}$ (дБ);

2) определить минимальное количество основных независимых параметров радиосредства Θ_j , от которых зависит целевая функция радиолинии в виде вероятности радиосвязи с достоверностью, не хуже заданной и допусков на них $\Delta\Theta_j$ [6-8].

Например: $P = 1000 \pm 100$ (Вт), $U = 1 \pm 0,1$ (В), $\delta_{ог} = \pm 5 \times 10^{-8}$, $\eta \leq 5\%$, $\Delta f_d = 1500 - 30000$ (кГц), $T_s = 1/B - 50, 75, 100, 200, 250, 500$ (Бод), $K_{ш} \leq 16$ (дБ);

3) установить аналитическую зависимость между ПКФ и техническими параметрами радиосредства. *Например,* для случая передачи r -го варианта дискретных узкополосных сигналов с АТ, ЧТ либо ОФТ, значение ПКФ определяется выражением [9]:

$$g_i^2 = (1 - \eta)^2 \sin^2 [\pi \delta_{ог} f_c T_s (1 - \eta)], \quad (1)$$

где f_c – частота контролируемого сигнала, T_s – длительность информационной посылки.

В случае передачи сложных сигналов параллельной структуры, ПКФ примет вид:

$$g_i^2 = \frac{1}{4P_{и} P_{э}} \left(\sum_{k=k_1}^{k_N} |U_{кн} U_{кэ} \sin c(\pi \Delta f_k T_s) \times \exp(j \Delta \Psi_k)|^2 \right), \quad (2)$$

где $U_{кн}$, $U_{кэ}$ – амплитуды составляющих искаженного и эталонного сигналов, Δf_k , $\Delta \Psi_k$ – частотный и фазовый сдвиг между одноименными компонентами эталонного и искаженного сигналов;

4) проверить соблюдение условия $g_i^2 = f(\Theta_j)$ для всех видов применяемых в контролируемых радиосредствах сигналов. Если математические модели установлены, то осуществляем переход к шагу 5, если нет, то к шагу 6;

5) вычислить значения пороговых уровней $g_{ij\text{пу}}^2$ для перечня контролируемых независимых параметров Θ_j , $j \in \{1, s\}$;

6) определить значение $g_{i\text{пор}}^2$ экспериментально. При этом необходимо отметить, что, например, для ПКФ РПУ $\Delta \beta_{i\text{пор}}$ установить аналитическую зависимость от технических параметров проблематично и требует дополнительных исследований. В этом случае,

пороговое значение ПКФ $\Delta\beta_{i\text{ пор}}$ возможно определить, исходя из целевой функции радиосредства либо экспериментально;

7) рассчитать пороговое значение ПКФ $g_{i\text{ пор}}^2$ для i -го вида сигнала по формуле:

$$g_{i\text{ пор}}^2 = \frac{1}{s} \sum_{j=1}^s g_{ij\text{ пу}}^2 ; \tag{3}$$

8) скорректировать значения профилактических допусков $\Delta\Theta_j$ на параметры СРС, выполнив решение уравнения вида $\Delta\Theta_j = F(g_{i\text{ пор}}^2)$, в этом случае все независимые параметры Θ_j , оказывающие влияние на ПКФ, равнозначно снижают его значение до порогового уровня при достижении своих допусков (парциально) [10];

9) сохранить значения $g_{i\text{ пор}}^2$ и допусков $\Delta\Theta_j$ на контролируемые параметры для всех видов сигналов в БД ПДРЦ.

На рис. 2 представлена блок-схема алгоритма первого этапа методики, осуществляющей формирование БД пороговых значений ПКФ и допусков на контролируемые параметры СРС АРЦ.

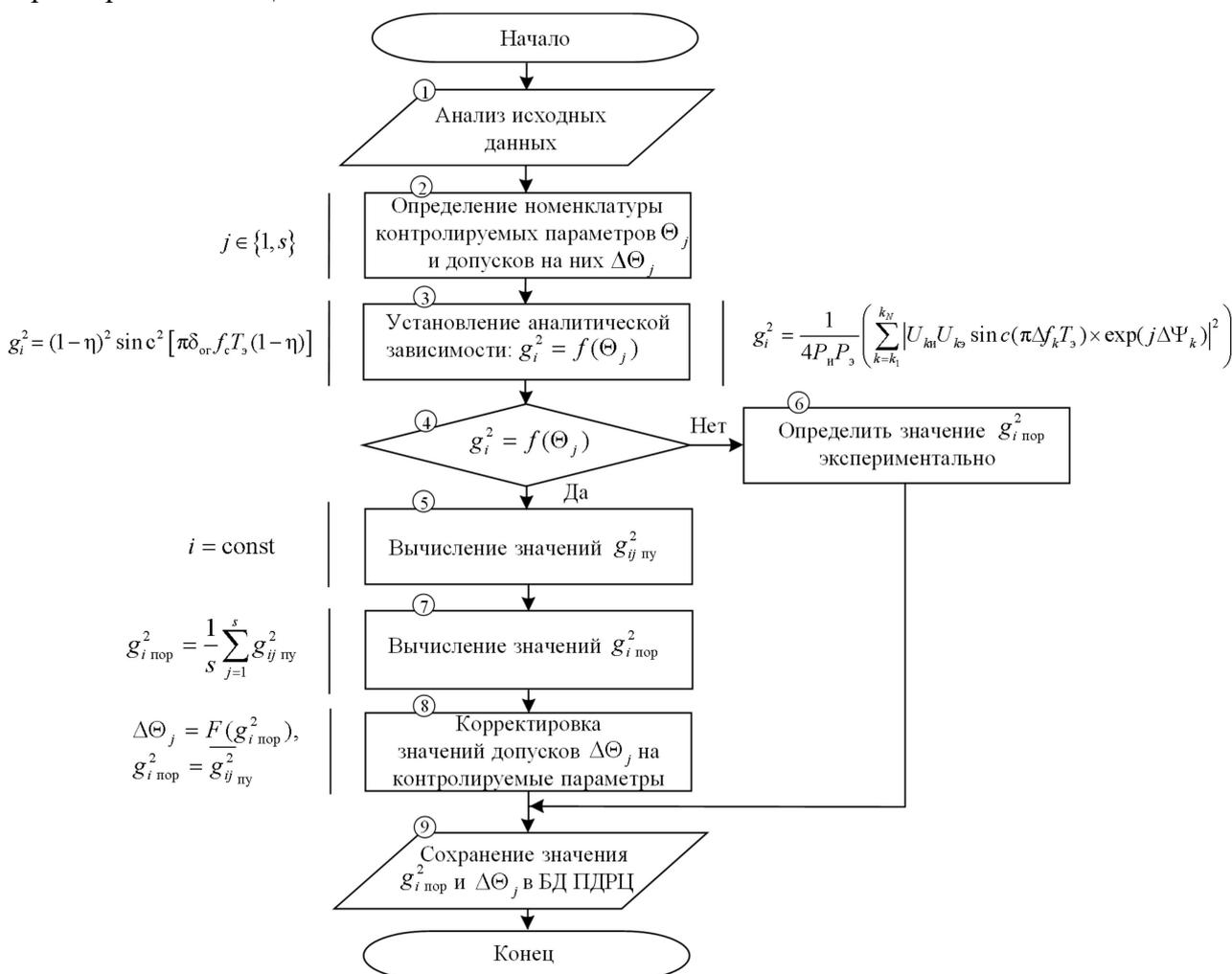


Рис. 2. Блок-схема алгоритма первого этапа методики, осуществляющей формирование БД пороговых значений ПКФ и допусков на контролируемые параметры СРС АРЦ

Представленный на рис. 2 алгоритм позволяет получать пороговые (опорные) значения ПКФ как приемных, так и передающих радиосредств и осуществлять коррекцию контролируемых параметров с целью минимизации методической погрешности.

3. Второй этап методики по формированию базы состояний измерителя коэффициентов подобия сигналов

Представленная на рис. 3 блок-схема алгоритма второго этапа методики, выполняющая формирование БС ИКПС, является следствием выражения (1), где в качестве комплексных множителей под знаком интеграла выступают искаженный сигнал, сформированный (обработанный) реальным радиосредством и сигнал, комплексно сопряженный с эталонным сигналом. Как известно, процедуру вычисления выражения (1) возможно реализовать на корреляторах или согласованных фильтрах (СФ) [11, 12].

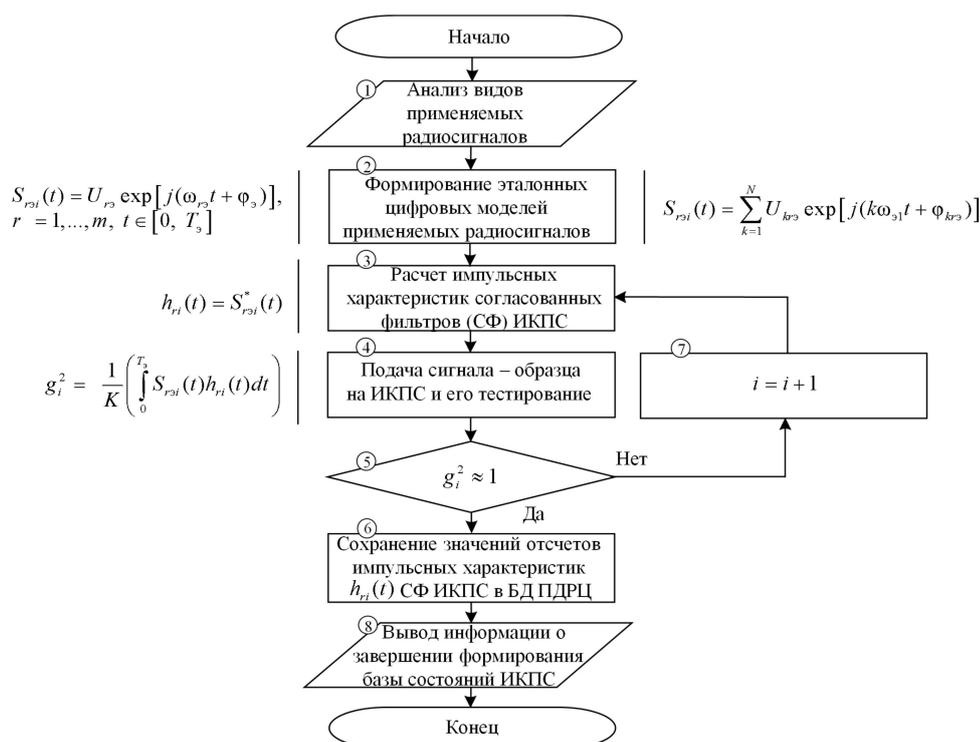


Рис. 3. Блок-схема алгоритма второго этапа методики, выполняющей формирование базы состояний ИКПС

Таким образом, задача по формированию БС ИКПС сводится к нахождению соответствующих сформированным эталонным цифровым радиосигналам импульсных характеристик СФ. Рассмотрим порядок работы второго этапа методики в виде алгоритма, представленного на рис. 3:

1) произвести анализ применяемых в радиолинии (РЛ) сигналов. Например: F1B, G1B, либо параллельный сигнал сложной структуры, которые можно представить, используя их аналитические представления [13]:

$$S_{r_{\alpha i}}(t) = U_{r_{\alpha}} \exp[j(\omega_{r_{\alpha}} t + \varphi_{\alpha})] \text{ – для F1B,}$$

$$S_{r_{\alpha i}}(t) = U_{r_{\alpha}} \exp[j(\omega_{\alpha} t + \varphi_{r_{\alpha}})] \text{ – для G1B,}$$

$$S_{r_{\alpha i}}(t) = \sum_{k=1}^N U_{kr_{\alpha}} \exp[j(k\omega_{\alpha 1} t + \varphi_{kr_{\alpha}})],$$

где $U_{r_{\alpha}}$, ω ($\omega_{\alpha 1}$) и φ , $r = 1, \dots, m, t \in [0, T_{\alpha}]$ – соответственно, амплитуда, частота (частота первой поднесущей) и начальная фаза r -го варианта эталонных сигналов;

2) сформировать цифровые эталонные модели применяемых радиосигналов $S_{r_{\alpha i}}(t)$ и сохранить в базе знаний (БЗ) АРЦ;

Данные модели возможно получить за счет оцифровки тестовых радиосигналов, сформированных заведомо исправными СРС. В этом случае, модель радиосигнала будет

учитывать частотные характеристики используемых в радиотракте формирующих фильтров, также будет известна информационная манипулирующая последовательность;

3) рассчитать импульсные характеристики СФ ИКПС по условию $h_{ri}(t) = S_{rzi}^*(t)$;

4) осуществить последовательную подачу на вход ИКПС сформированных эталонных сигналов $S_{rzi}(t)$. Отклик на выходе ИКПС в моменты времени lT_s ($l = 1, \dots, z$) будет иметь вид [4]:

$$g_i^2 = \frac{1}{K} \left(\int_0^{T_s} S_{rzi}(t) h_{ri}(t) dt \right), \quad (4)$$

где $1/K$ – нормирующий коэффициент.

5) проверить выполнение условия $g_i^2 \approx 1$ для каждой пары сформированных сигнал-импульсных характеристик. Если условие выполняется, то осуществляем переход к шагу 6, если нет, то к шагу 7;

6) сохранить значения отсчетов (коэффициентов) импульсных характеристик СФ $h_{ri}(t)$ ИКПС в БД АРЦ;

7) скорректировать расчет импульсных характеристик СФ фильтров и итерационно добиться выполнения условия $g_i^2 \approx 1$;

8) осуществить вывод информации о завершении формирования БС ИКПС.

Результаты, полученные в ходе выполнения первого и второго этапов методики ФК средств радиосвязи АРЦ, являются входными данными для ее третьего этапа.

4. Третий этап методики по функциональному контролю средств радиосвязи автоматизированного радицентра

Задача первых двух этапов заключается в формировании первичной информации в БД (БС) комплекса средств автоматизации АРЦ, в части касающейся подсистемы КТС средств радиосвязи, в виде следующих исходных данных: $g_{i \text{пор}}^2$, $\Delta\beta_{i \text{пор}}$, $h_i(t)$, которые, в свою очередь, являются входными данными для третьего этапа методики.

Третий этап методики является следствием модели КТС радиосредств радиолинии в процессе функционирования, описанной в работе [10], и отражает непосредственное применение СРС по назначению в процессе эксплуатации. Рассмотрим порядок работы третьего этапа методики, в части касающейся ФК (идентификации вида ТС) РПДУ (формирователей сигналов – ФС), согласно блок-схемы алгоритма, представленной на рис. 4:

1) ввести исходные данные $g_{i \text{пор}}^2$, $h_i(t)$;

2) произвести измерения значений показателей качества функционирования $g_{i \text{тф}}^2$ РПДУ тестово-функциональным методом в интервалах времени между сеансами передачи дискретной информации в РЛ;

3) проверить соблюдение условия $g_{i \text{тф}}^2 > g_{i \text{пор}}^2$, если условие выполняется, то осуществляем переход к шагу 4, если нет, то к шагу 5;

4) произвести интерполяцию матрицы значений ПКФ $g_{i \text{тф}}^2$;

5) выполнить управление аппаратным ресурсом ПДРЦ – автоматизированное включение резервного комплекта (ВУ, усилителя мощности – УМ) с одновременным выводом неправильно функционирующего СРС на техническое обслуживание (ТО) или ремонт;

6) сохранить значения $g_{i \text{тф}}^2$ для всех функционирующих (резервных) ФС в базе данных ПДРЦ (АРЦ) с возможностью их последующего отображения в виде временного ряда $g_{i \text{тф}}(t) = \sum_{n=1}^{\infty} g_{i \text{тф}}(n\tau) \times \text{sinc}(t - n\tau)$ [14] (где $t = n\tau$, τ – интервал времени между процедурами ФК) матриц значений ПКФ на АРМ оператора (дежурного) ПДРЦ (АРЦ);

7) осуществить передачу сообщения (сигнала) на ПРЦ* о том, что «идентификация ТС ФС выполнена».

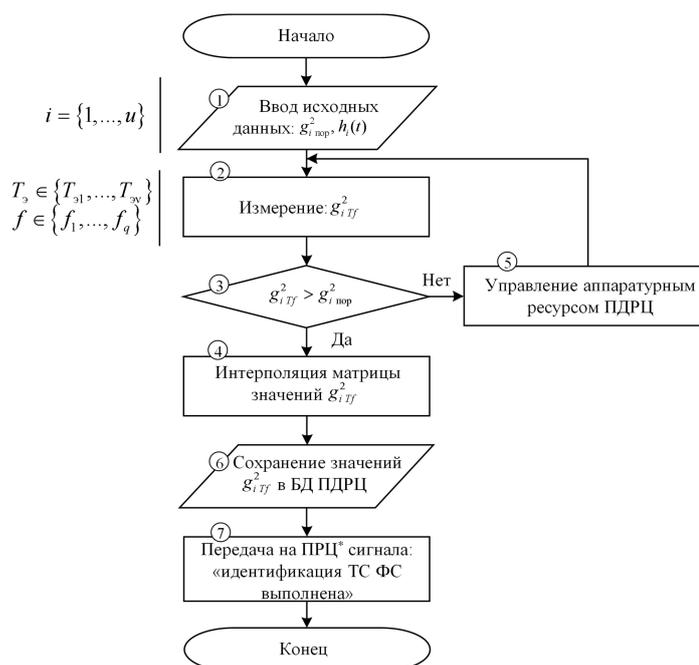


Рис. 4. Блок-схема алгоритма третьего этапа методики по ФК РПДУ

Для качественно-количественной идентификации вида ТС РПУ на третьем этапе методики необходимо осуществить последовательность действий, согласно блок-схемы алгоритма, представленной на рис. 5:

1) ввести исходные данные $\Delta\beta_i$, $p_{\text{ош min}}$ – минимальная вероятность ошибки в канале связи (расчетная величина) $p_{\text{ош min}} = K_{\text{ош min}} (1 \pm \delta_{\text{ош треб}})$, где $K_{\text{ош min}} = t_{\beta}^2 / \delta_{\text{ош треб}}^2 B \Delta t_{\text{к max}}^*$, t_{β} – коэффициент Стьюдента, B – скорость передачи информационных посылок, $\Delta t_{\text{к max}}^*$ – максимальное (допустимое) время контроля функционирующего РПУ, а $\delta_{\text{ош треб}}$ – требуемая относительная погрешность оценки значения вероятности ошибки в канале связи [10];

2) произвести измерения отношения сигнал/шум \bar{h}_0^2 и m – параметра распределения Накагами для учета влияния среды распространения радиоволн на вероятность ошибки $p_{\text{ош}}$;

3) выполнить предварительную оценку значения вероятности ошибки в канале связи [15]:

$$p_{\text{ош}} = 0,5 \left(1 + \bar{h}_0^2 / 2m \right)^{-m};$$

4) проверить выполнение условия $p_{\text{ош}} > p_{\text{ош min}}$ для обеспечения требуемой точности $\delta_{\Delta\beta} = f(\delta_{\text{ош треб}})$ ($\delta_{\text{ош треб}} = f(\Delta t_{\text{к}}^*)$) относительной идентификации ТС функционирующего РПУ за время $\Delta t_{\text{к}}^* \leq \Delta t_{\text{к max}}^*$. В противном случае, КТС функционирующего РПУ может занять неопределенное время. Если условие выполняется, то осуществляется переход к шагу 5, если нет, то к шагу 6;

5) осуществить измерение (оценку) значений коэффициентов ошибок $K_{\text{ош1}}$, $K_{\text{ош2}}$ после первых решающих схем основных (функционирующих) и резервных (контролирующих) РПУ АРЦ;

6) продолжить измерения \bar{h}_0^2 и m – параметра;

7) получить текущее значение $g_{i \text{ тг}}^2$ с ПДРЦ* по запросу с ПРЦ;

8) вычислить $p_{\text{ош}}(\alpha)$, $\Delta K_{\text{ош}}$ и определить значение $\Delta\beta_i$ согласно модели [10]:

$$\Delta\beta_i = \arccos\left(\sqrt{\frac{2m}{\bar{h}_0^2}(-\sqrt[2]{2(p_{\text{ош}}(\alpha) + |\Delta K_{\text{ош}}|) - 1)}}\right) - \alpha, \quad (5)$$

где $\alpha = \arccos(g_{i \text{ тг}})$. Представленная модель определена при обработке РПУ сигналов частотной телеграфии (ЧТ) для которых значение γ^2 при \bar{h}_0^2 равно 1, в случае приема сигналов относительной фазоразностной телеграфии (ОФТ) $\gamma^2 = 2$ [16, 17];

9) проверить выполнение условия $\Delta\beta_i < \Delta\beta_{i \text{ пор}}$, если условие выполняется, то осуществляем переход к шагу 10, если нет, то к шагу 11;

10) сохранить значения $\Delta\beta_i$ в БД (АРЦ*) всех функционирующих (контролирующих) РПУ с возможностью их последующего отображения в виде временного ряда $\Delta\beta_i(t) = \sum_{n=1}^{\infty} \Delta\beta_i(n\tau) \times \sin c(t - n\tau)$ на АРМ оператора (дежурного) ПРЦ* (АРЦ*);

11) выполнить управление аппаратным ресурсом ПРЦ* – автоматизированное включение резервного комплекта РПУ с одновременным выводом неправильно функционирующего комплекта (радиосредства) на ТО или ремонт.

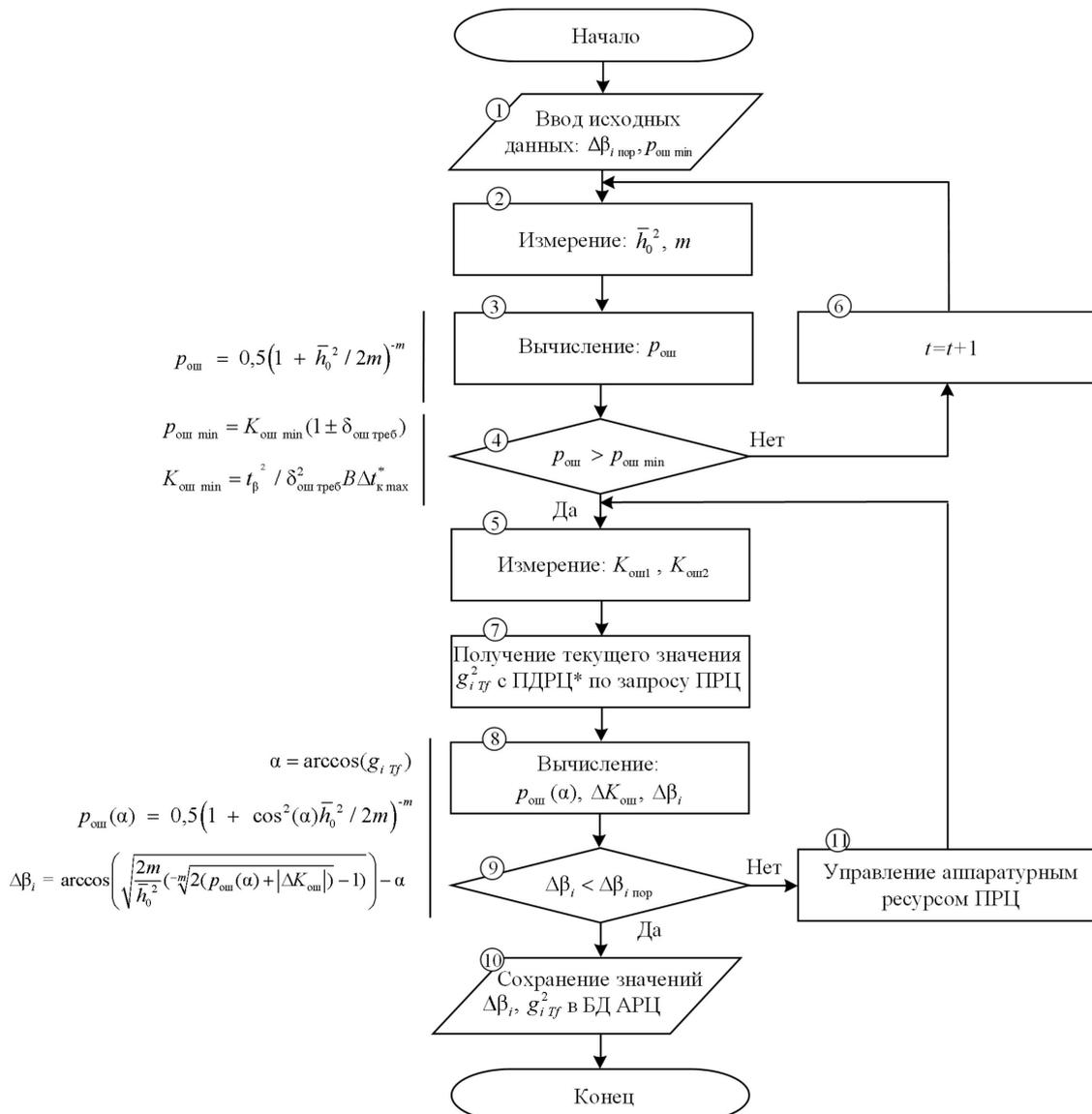


Рис. 5. Блок-схема алгоритма третьего этапа методики по ФК РПУ

Таким образом, в результате выполнения блок-схем алгоритмов третьего этапа методики в БД АРЦ формируются временные ряды значений ПКФ контролируемых СРС, при анализе которых, с некоторой вероятностью, возможно осуществлять прогнозирование ТС СРС. При этом остается нерешенным вопрос о периодичности τ выполнения процедур ФК СРС согласно вышеописанным алгоритмам. Следующий этап настоящей методики посвящен ответу на него.

5. Четвертый этап методики по обеспечению требуемого значения коэффициента готовности средств радиосвязи автоматизированного радиопункта

5.1. Определение условий решения задачи по нахождению оптимального интервала времени между процедурами функционального контроля средств радиосвязи

Необходимость полноты учета данных о фактическом ТС обслуживаемых СРС следует из определения надежности [18, 19]. Общая надежность радиотехнической системы определяется двумя вероятностями:

вероятностью нахождения выходного параметра системы (одного или нескольких) в зоне допуска во время нормального функционирования;

вероятностью безотказной работы элементов системы.

Теория надежности оперирует статистикой отказов элементов системы (восстанавливаемых, невосстанавливаемых), не делая различий в типах отказов. В этом случае, для подтверждения численных значений показателей, полученных в рамках теории надежности, при эксплуатации средств связи необходимо идеальное всестороннее диагностическое обеспечение, которое в режиме реального времени способно определять ТС средств (систем) связи.

В настоящее время при эксплуатации СРС в режиме реального времени встроенные средства контроля способны выявлять только отказы функционирования, которые могут возникать при скачкообразном изменении выходных параметров или быть следствием давно возникшего параметрического [18] (постепенного) отказа, своевременно не распознанного средствами контроля ТС. При параметрическом отказе радиотехническая система способна функционировать до момента проведения инструментального технического обслуживания (ТО-2), либо до момента наступления функционального отказа.

Для обеспечения общей надежности радиосредств необходимо совмещение по времени и месту систем функционального и параметрического контроля. Но если средства функционального контроля обычно являются неотъемлемой частью средств радиосвязи и осуществляют мониторинг их работоспособности в режиме реального времени, то средства параметрического контроля (СК) в виде аппаратно-программных измерительных средств достаточно сложны и их сложность сопоставима со сложностью объекта контроля (ОК), т. е. СРС, а может и превосходить их. Из этого следует необходимость перехода от непрерывного к дискретному контролю параметров целевой функции радиотехнической системы для обеспечения вероятности безотказной работы СК (например, за счет уменьшения наработки [19]) не ниже заданной, в течение установленного срока службы. В данном случае, возникает противоречие между необходимостью непрерывного параметрического контроля ОК и ограниченным ресурсом СК. Непрерывный контроль порождает «цепную реакцию контроля» («сторож сторожит сторожей» [19]), когда для контроля СК необходимо другое СК и разрешается это противоречие только заменой непрерывного контроля ТС СРС дискретным [20].

Рассмотрим различные варианты определения интервала времени между процедурами контроля технического состояния СРС по ПКФ (далее будем считать контроль по параметрам и ПКФ эквивалентным) при экспоненциальном законе распределения вероятности безотказной работы:

первый вариант – в процессе контроля значения ПКФ (параметров) радиосредство не функционирует и продолжает выполнять свои функции после проведения процедуры контроля ПКФ или восстанавливается. Надежностные характеристики СК не учитываются;

второй вариант – контроль ПКФ осуществляется в процессе функционирования. Надежностные характеристики СК не учитываются;

третий вариант – контроль ПКФ осуществляется в процессе функционирования. СК обладает надежностными характеристиками (средняя наработка до отказа $T_{ск}$, срок службы).

Для вышеуказанных вариантов функционирования СРС необходимо определить, если это возможно, оптимальный интервал времени между процедурами параметрического контроля, максимизирующий значение целевой функции – коэффициента готовности $\max K_r(\tau)$.

5.2. Решение задачи определения оптимального интервала времени между процедурами функционального контроля средств радиосвязи согласно первому варианту

В первом варианте применяется стратегия ТО по состоянию (ТОС) с контролем параметров и периодичностью Δt_k в течение времени $\Delta t_k^* < t_{ТО}$, где $t_{ТО}$ – периодичность проведения технического обслуживания. При обнаружении отказа, изделие восстанавливают в течение времени T_b . В этом случае коэффициент технического использования $K_{ти}$, при условии $\Delta t_k / T \ll 1$, имеет следующий вид [21, 22], где T – средняя наработка на отказ радиосредства:

$$K_{ти} = \frac{T[1 - \exp(-\Delta t_k / T)]}{T_b[1 - \exp(-\Delta t_k / T)] + \Delta t_k + \Delta t_k^*} \quad (6)$$

Время, в течение которого осуществляется контроль параметров Δt_k^* , является расчетной постоянной величиной и определяется на стадии моделирования процесса контроля ТС, исходя из требований к полноте и достоверности результатов контроля. Выражение (6) не учитывает возможность выхода параметров средства связи за пределы своих допусков между процедурами КТС. Тогда запишем его с учетом интервала неправильного функционирования в виде [20]:

$$K_{ти} = \frac{T[1 - \exp(-\Delta t_k / T)]}{T_b[1 - \exp(-\Delta t_k / T)] + \Delta t_k[1 - \exp(-\Delta t_k / T)] + \Delta t_k + \Delta t_k^*} \quad (7)$$

В выражении (7) произведен учет интервала неправильного функционирования, как интервала, возникающего с периодичностью T , что в данном случае является допущением, поскольку средняя наработка на отказ учитывает как внезапные, так и постепенные отказы радиосредств, поэтому вероятность появления этого интервала с периодом T будет меньше 1.

Для определения максимального значения $K_{ти}$ найдем частную производную $\partial K_{ти}(\Delta t_k) / \partial \Delta t_k$ от выражения (7) и приравняем ее к нулю.

В результате получаем уравнение, которое может быть приближенно решено при соблюдении условия $\Delta t_k / T \ll 1$. Разложив $\exp(-\Delta t_k / T)$ в ряд и, ограничившись тремя первыми членами, получим выражение:

$$\Delta t_k \approx \sqrt{T \Delta t_k^*} \quad (8)$$

Пример расчета: при $T = 6000$ ч., $\Delta t_k^* = 1/12$ ч., $\Delta t_k = \sqrt{6000/12} \approx 22,4$ ч., $\Delta t_k^* = 1/6$ ч., $\Delta t_k = \sqrt{6000/6} \approx 31,6$ ч.

Уравнение (8) определяет оптимальный временной интервал между процедурами контроля параметров радиосредств по условию первого варианта.

Оптимизация временного интервала между процедурами КТС СРС по ПКФ, согласно условиям первого варианта возможна, если в качестве целевой функции использовать $K_{ти}$.

По определению коэффициент готовности K_r не учитывает время на проведение ТО (Δt_k^*), следовательно при $\Delta t_k^* = 0$, или при отсутствии перерывов в функционировании радиосредств во время проведения ФК, коэффициент технического использования (7) переходит в K_r , который не имеет экстремумов.

5.3. Решение задачи определения оптимального интервала времени между процедурами функционального контроля средств радиосвязи согласно второму варианту

В том случае, если контроль параметров СРС осуществляется в процессе функционирования, то выражение (7) примет вид:

$$K_r = \frac{T[1 - \exp(-\tau/T)]}{T_b[1 - \exp(-\tau/T)] + \tau[1 - \exp(-\tau/T)] + \tau}, \quad (9)$$

где $\tau = \Delta t_k + \Delta t_k^*$.

Формулу (9), исходя из условия $\tau/T \ll 1$, преобразуем к следующему виду [20]:

$$K_r = \frac{T}{T + T_b + \tau}. \quad (10)$$

В случае нераспознанного отказа, при котором снижается качество функционирования СРС ниже допустимого значения, минимальный (из-за вышеуказанного допущения) коэффициент готовности определяется выражением (10) и он обратно пропорционален интервалу времени между процедурами параметрического контроля $\tau = \Delta t_k + \Delta t_k^*$.

На рис. 6 представлены графики зависимости $K_{\text{ти}}(\tau)$, $K_r(\tau)$ от интервала параметрического контроля τ согласно выражениям (7) и (10), при $\Delta t_k^* = 1/12$ ч.; $1/6$ ч. (синий и красный цвет графиков соответственно), $T_b = 100$ ч., $T = 6000$ ч.

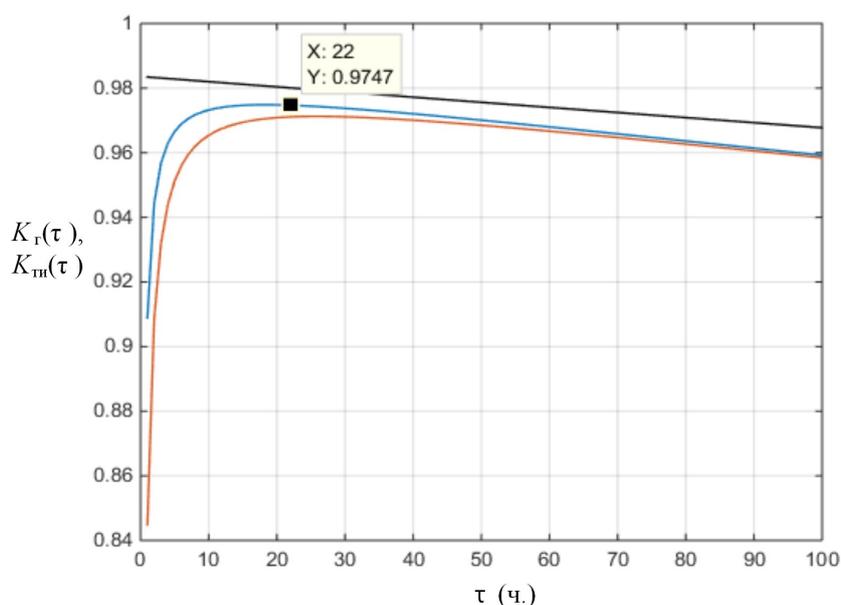


Рис. 6. Графики зависимости $K_r(\tau)$, $K_{\text{ти}}(\tau)$

На графиках рис. 6 виден экстремум функции $K_{\text{ти}}(\tau)$ ($K_r(\tau)$ экстремумов не имеет), но только если в процессе контроля параметров радиосредство не обеспечивает связь. Оптимальный интервал между процедурами контроля определяется выражением (8). Если параметрический контроль осуществляется в процессе функционирования радиосредства, то график $K_r(\tau)$ (на рис. 6 выделен черным цветом) представляет собой линейную зависимость от τ и максимальное значение K_r достигнет при интервале времени между процедурами КТС средств радиосвязи равным нулю. В этом случае дискретный контроль переходит в непрерывный контроль и выражение (10) преобразуется к известному виду $K_r = T / (T + T_b)$ [18].

5.4. Решение задачи определения оптимального интервала времени между процедурами функционального контроля средств радиосвязи согласно третьему варианту

В п. 5.1 настоящей методики было отмечено, что при длительной эксплуатации средств связи возникает противоречие между необходимостью непрерывного параметрического контроля ОК и ограниченным ресурсом СК.

Рассмотрим третий вариант определения интервала контроля ТС радиосредства, при котором контроль параметров осуществляется в процессе функционирования. Средство контроля обладает надежностными характеристиками: $T_{\text{ск}}$ – средняя наработка до отказа; $nT_{\text{ск}}$ – срок службы средства контроля, где n – натуральное число.

Параметрический контроль радиосредств предполагает наличие средств измерений, степень точности которых должна быть на порядок выше точности контролируемых параметров, при этом степень их сложности, в отличие от встроженных в ОК СК, сопоставима и даже превышает сложность СК. Согласно руководству по эксплуатации на изделие «Тишина – ПВР», уровень сигнала с выхода возбуждителя РПДУ Р-176-У не должен отклоняться на величину более $1 \text{ В} \pm 0,1 \text{ В}$, краевые искажения радиотракта – не более 2 %, долгосрочное отклонение частоты опорного генератора – не более $\pm 5 \times 10^{-8}$ Гц, в течение года. Повышение требований к качеству формируемых СРС сигналов за счет применения методов цифровой обработки сигналов с одной стороны приводит к ужесточению требований к стабильности (допускам) параметров СРС, а с другой стороны вызывает необходимость создания средств измерений со значительно большей точностью измерения, т. е. должен действовать принцип опережающего повышения точности средств измерения по сравнению с допусками контролируемых параметров. Точность и сокращение времени ФК, а также необходимость длительного автономного функционирования в автоматическом режиме способствует росту сложности СК, при этом СК должны оставаться надежными в течение всего срока службы.

Представим вероятность безотказной работы СК в виде [20]:

$$P_{\text{ск}}(t) = \exp\left(-\frac{\Delta t_{\text{к}}^* N}{T_{\text{ск}}}\right), \quad (11)$$

где $t = \sum_{N=1}^N \Delta t_{\text{к}}^* N$, N – количество процедур параметрического контроля в течение срока службы $nT_{\text{ск}}$ СК, при этом вероятность безотказной работы СК не должна быть меньше некоторой минимальной наперед заданной величины $P_{\text{ск min}}$, $N = nT_{\text{ск}} / \Delta t_{\text{к}}$ и, учитывая, что $\Delta t_{\text{к}} \gg \Delta t_{\text{к}}^*$, то $\tau \approx \Delta t_{\text{к}}$, тогда выражение (11) запишем в виде:

$$\begin{cases} P_{\text{ск}}(\tau) = \exp(-n\Delta t_{\text{к}}^* / \tau); \\ P_{\text{ск}}(\tau) \geq P_{\text{ск min}}. \end{cases} \quad (12)$$

Система уравнений (12) позволяет просто определить минимальный интервал контроля τ при известной минимальной величине вероятности безотказной работы СК $P_{\text{ск min}}$, значение которой необходимо оценить.

СК должно оставаться высоконадежным в течение всего срока службы, поскольку его значения измерений являются определяющими при управлении аппаратурным ресурсом всего ПДРЦ (ПРЦ).

Критерий высокой надежности СК сформулируем в следующем виде [20]: надежность СК (в виде вероятности безотказной работы СК $P_{\text{ск}}(\tau)$) в течение срока службы должна быть больше или равна надежности ОК, резервируемой системы (в виде коэффициента готовности $K_r(\tau)$), т. е. $P_{\text{ск}}(\tau) \geq K_r(\tau)$.

В работе будем использовать резервирование методом замещения [18, 19], поскольку при использовании дискретного ФК, как основных (функционирующих), так и резервных (контрольных) СРС в сочетании с небольшим интервалом времени готовности к применению по назначению после включения не более 3 мин [23, 24], а при наличии «спящего» режима – десятки секунд, отпадает необходимость использования горячего структурного резервирования СРС на современных радицентрах, в этом случае применение резервирования методом замещения (в частности, дублирования) для повышения надежности СРС является наиболее эффективным.

Коэффициент готовности восстанавливаемой резервированной методом замещения системы определяется выражением [18]:

$$K_r = \frac{\sum_{i=0}^m \rho^i}{\sum_{i=0}^{m+1} \rho^i}, \tag{13}$$

где m – кратность резервирования, $\rho = T_b / T$. Уравнение (13) с учетом выражения (10) представим в следующем виде:

$$K_r(\tau) = \frac{\sum_{i=0}^m \rho^i}{\sum_{i=0}^{m+1} \rho^i + \rho^*}, \text{ где } \rho^* = \tau / T. \tag{14}$$

Цель диагностической системы заключается в своевременном определении ТС ОК с требуемой достоверностью и полнотой. Время, необходимое для осуществления контроля Δt_k^* , достоверность и полнота контроля определяются на этапе моделирования процесса контроля [10]. Оптимизационная задача по определению своевременности ФК СРС сводится к нахождению временного интервала τ между процедурами контроля с целью превышения значения $K_r(\tau)$ требуемого значения коэффициента готовности СРС $K_{r, \text{треб}}$, в течение времени $nT_{\text{ск}}$ и будет иметь вид:

$$\begin{cases} P_{\text{ск}}(\tau) \geq K_r(\tau); \\ \max K_r(\tau) \geq K_{r, \text{треб}}; \\ \tau = \arg \left\{ \max_{\tau/T \in [1, \dots]} K_r(\tau) \right\}. \end{cases} \tag{15}$$

Будем считать достоверность каждой процедуры КТС СРС высокой. Запишем первое неравенство системы неравенств (15) в следующем виде:

$$\exp\left(-\frac{n\Delta t_k^*}{\tau}\right) \geq \frac{T}{T + \tau}. \tag{16}$$

Правая часть неравенства (16) получена из уравнения (9) при $T_b = 0$ ч. Это может показаться грубым допущением, однако уже при однократном резервировании методом замещения (дублирование) значения времени восстановления до 5 суток практически не оказывают влияние на результат решения неравенства (16), но решение значительно упрощается.

Неравенство (16), при условии $\tau / T \ll 1$, преобразуем к виду:

$$\exp(-n\Delta t_k^* / \tau) \geq \exp(-\tau / T). \tag{17}$$

Прологарифмируем левую и правую часть неравенства (17) и в результате получаем:

$$\tau \geq \sqrt{nT\Delta t_k^*}. \tag{18}$$

Полученное неравенство (18) при $n=1$ совпадает с выражением (8) и представляет собой решение неравенства (16) а, в случае равенства, определяет оптимальный интервал времени между процедурами ФК СРС максимизирующий значение коэффициента готовности $\max K_r(\tau)$.

На рис. 7 представлены графики зависимости $K_r, K_r(\tau)$ при резервировании методом замещения (дублировании) согласно уравнений (13), (14) (пунктирные линии черного и красного цвета соответственно), а также графики зависимости вероятности безотказной работы средства контроля $P_{ck}(\tau)$ (12) при изменении n от 1 до 10. Исходные данные для построения графиков: $T = 6000$ ч., $T_B = 120$ ч., $\Delta t_k^* = 1/12$ ч.

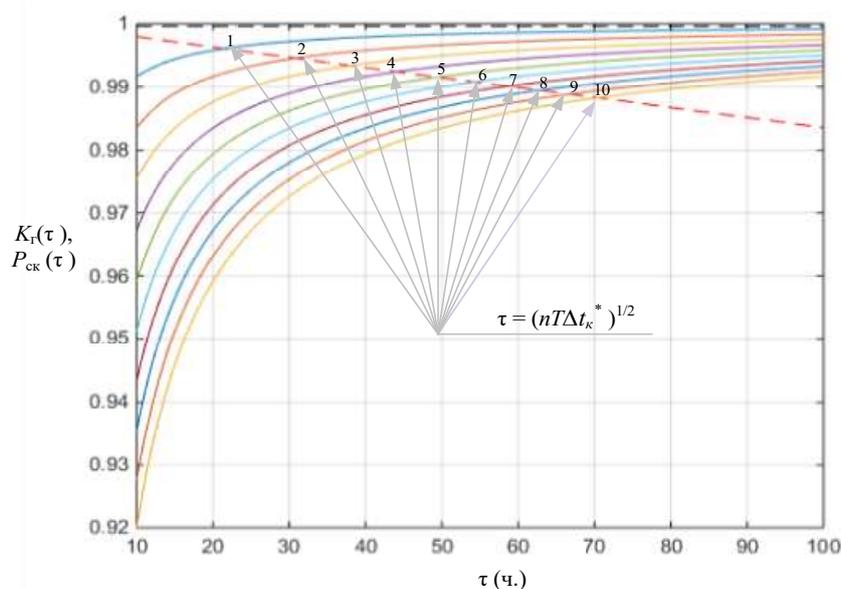


Рис. 7. Графики зависимости $K_r, K_r(\tau), P_{ck}(\tau)$

На рис. 7 точки пересечения $K_r(\tau)$, с $P_{ck}(\tau)$ определяются выражением $\tau = \sqrt{nT\Delta t_k^*}$. Значение n равно количеству линий графика $P_{ck}(\tau)$ над красной пунктирной линией зависимости $K_r(\tau)$ при различных τ и соответствует количеству интервалов nT_{ck} , в течение которых будет выполняться первое неравенство системы неравенств (15).

Из графиков на рис. 7 видно, что сокращение интервала времени между процедурами параметрического контроля приближает нижнюю границу $K_r(\tau)$ к расчетному значению K_r (13) и будет ему соответствовать при непрерывном контроле ТС ($\tau = 0$ ч.).

5.5. Решение задачи по определению оптимального интервала времени между процедурами функционального контроля средств радиосвязи с учетом времени выхода определяющих параметров за пределы установленных допусков

Решение (18) определено при условии наступления интервала неправильного функционирования τ СРС с периодичностью T , что означает принятие допущения о том, что существуют только параметрические отказы, оказывающие влияние на целевую функцию РЛ. Однако существуют внезапные отказы, которые никак не проявляются до момента перехода радиосредств из работоспособного в неработоспособное состояние, причиной которых могут быть постепенные деградационные физико-химические процессы внутри интегральных микросхем (FPGA-матриц), например, из-за воздействия ионизирующего излучения, температуры [25] или дефектов при изготовлении (нарушение технологического

процесса). При этом средняя наработка на отказ T учитывает средние потоки отказов элементов из которых состоит радиосредство и обычно не превышает для современных цифровых средств радиосвязи нескольких тысяч часов. Поэтому средняя наработка на отказ T всегда будет меньше среднего времени выхода определяющих параметров СРС за пределы установленных допусков T^* ($T < T^*$).

В работе [26] в разделе 2.1 приведены результаты экспериментального исследования закономерностей дрейфа определяющих нерегулируемых параметров радиоэлектронной аппаратуры.

Условия проведения эксперимента:

- 1) измерение значений параметров производилось один раз в квартал t (сеч);
- 2) статистическая однородность снимаемой информации обеспечивалась за счет использования в качестве объекта исследования комплектов РЭА, введенных в эксплуатацию одновременно и выработавших одинаковый ресурс;
- 3) в ходе эксперимента выдерживались однородные условия и режимы эксплуатации СРС;
- 4) после установки единых исходных состояний контролируемых параметров, измерение их значений производилось одними средствами контроля по единой методике, коррекция параметров не осуществлялась.

В ходе эксперимента была получена и обработана следующая информация:

- 1) по мощности сигнала радиопередающего устройства с объемом выборки 61;
- 2) по шумовому параметру (kT_0) радиоприемного устройства с объемом выборки 58;
- 3) по уровню сигнала на выходе генератора шума с объемом выборки 63.

На рис. 8–13 показаны графики изменения математического ожидания $m(t)$ и дисперсии $D(t)$ значений контролируемых параметров и их границы, определенные с доверительной вероятностью $P = 0,95$.

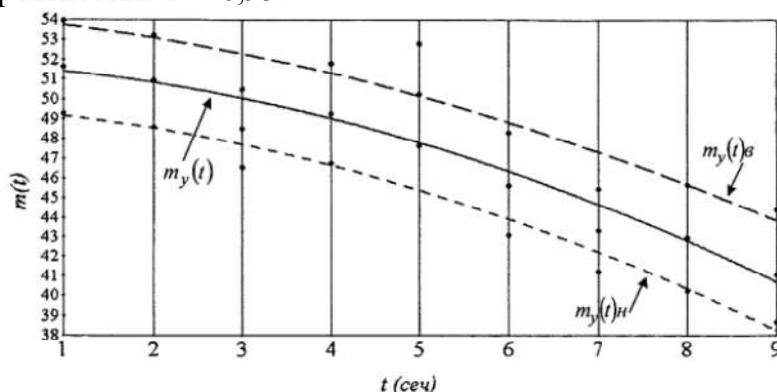


Рис. 8. Кривые, аппроксимирующие математическое ожидание $m(t)$ случайного процесса (СП) изменения мощности сигнала радиопередающего устройства

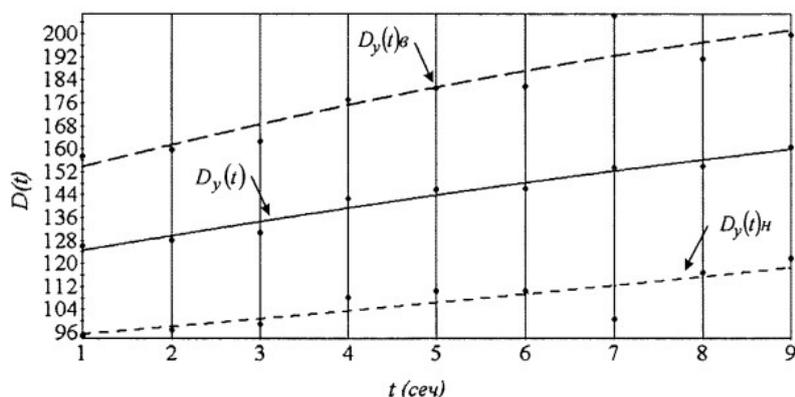


Рис. 9. Кривые, аппроксимирующие дисперсию $D(t)$ СП изменения мощности сигнала радиопередающего устройства

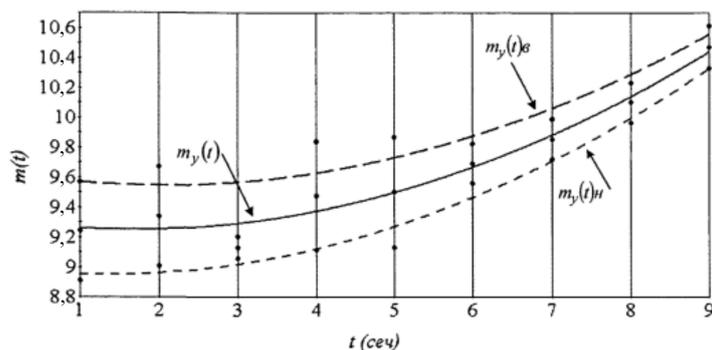


Рис. 10. Кривые, аппроксимирующие математическое ожидание $m(t)$ СП изменения шумового параметра радиоприемного устройства

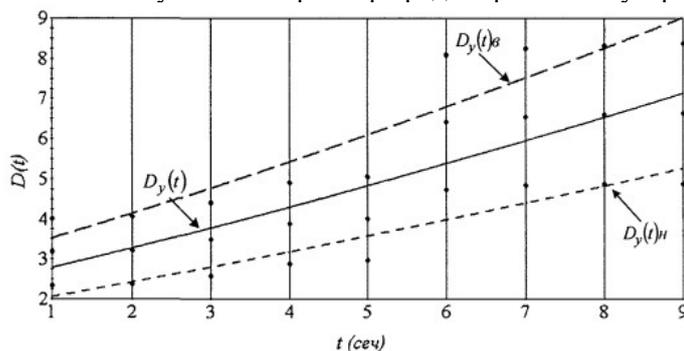


Рис. 11. Кривые, аппроксимирующие дисперсию $D(t)$ СП изменения шумового параметра радиоприемного устройства

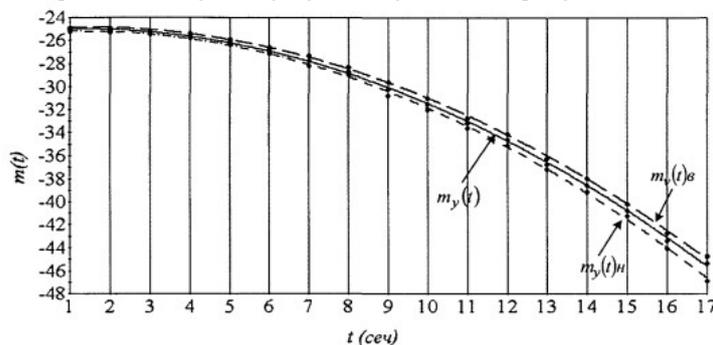


Рис. 12. Кривые, аппроксимирующие математическое ожидание $m(t)$ СП изменения уровня сигнала на выходе генератора шума

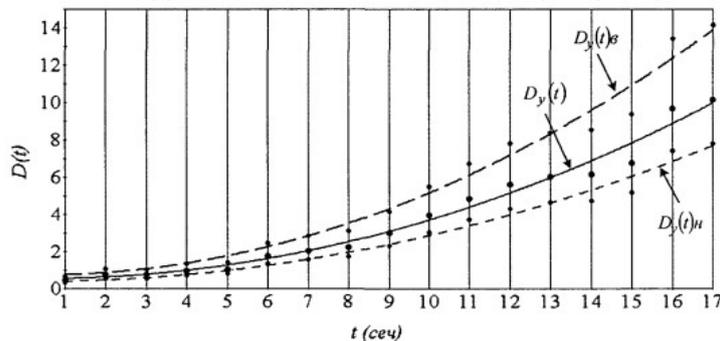


Рис. 13. Кривые, аппроксимирующие дисперсию $D(t)$ СП изменения уровня сигнала на выходе генератора шума

Экспериментальные данные изменения $m(t)$ и $D(t)$ СП подтверждают модель, в которой значения контролируемого параметра $y(t)$ представляют собой аддитивный нестационарный СП. При этом $y(t)$ может быть представлен в виде суммы двух независимых

компонент: случайной детерминированной, отражающей необратимые изменения состояния технического объекта, и случайной $\xi(t)$, обусловленной различными флюктуациями эксплуатационных факторов [7, 8, 26].

Из графиков, представленных на рис. 8 – 13 следует, что математическое ожидание и дисперсия контролируемых параметров (случайных процессов) с течением времени увеличиваются. Причем скорость изменения математического ожидания выше скорости изменения дисперсии контролируемых параметров. Так же графики на рис. 8 – 13 позволяют оценить среднее время выхода определяющих параметров за пределы допуска T^* .

Пример расчета:

1) если принять допуск на снижение выходной мощности РПДУ в 15 %, то, согласно графику рис. 8, T^* составит $7,5 \text{ (кв.)} \times 3 \text{ (мес.)} \times 730 \text{ (ч.)} = 16425 \text{ (ч)}$;

2) если коэффициент шума РПУ не должен превышать 10,2, то, согласно графику на рис. 10, T^* составит $8,5 \text{ (кв.)} \times 3 \text{ (мес.)} \times 730 \text{ (ч.)} = 18615 \text{ (ч)}$.

Полученные по экспериментальным графикам рис. 8, 10, 12 средние значения времени выхода определяющих параметров за пределы допуска T^* кратно превышают среднюю наработку на отказ контролируемых радиосредств.

Например, согласно ГОСТ Р 52016-2003 [23] средняя наработка на отказ магистральных РПУ ДКМ диапазона должна быть не менее 7000 ч при круглосуточной работе (1 год – 8 760 ч.). Согласно ГОСТ Р 51903-2002 [24] наработка на отказ РПДУ ДКМ диапазона должна составлять для полупроводниковых не менее 5000 ч (5 кВт), 6000 ч (1 кВт), для РПДУ полупроводниково-лампового исполнения 2600 ч и 3000 ч, соответственно.

На рис. 14 представлено графическое отображение интервала неправильного функционирования в процессе функционирования радиосредства (а) и резервируемой методом замещения системы (б).

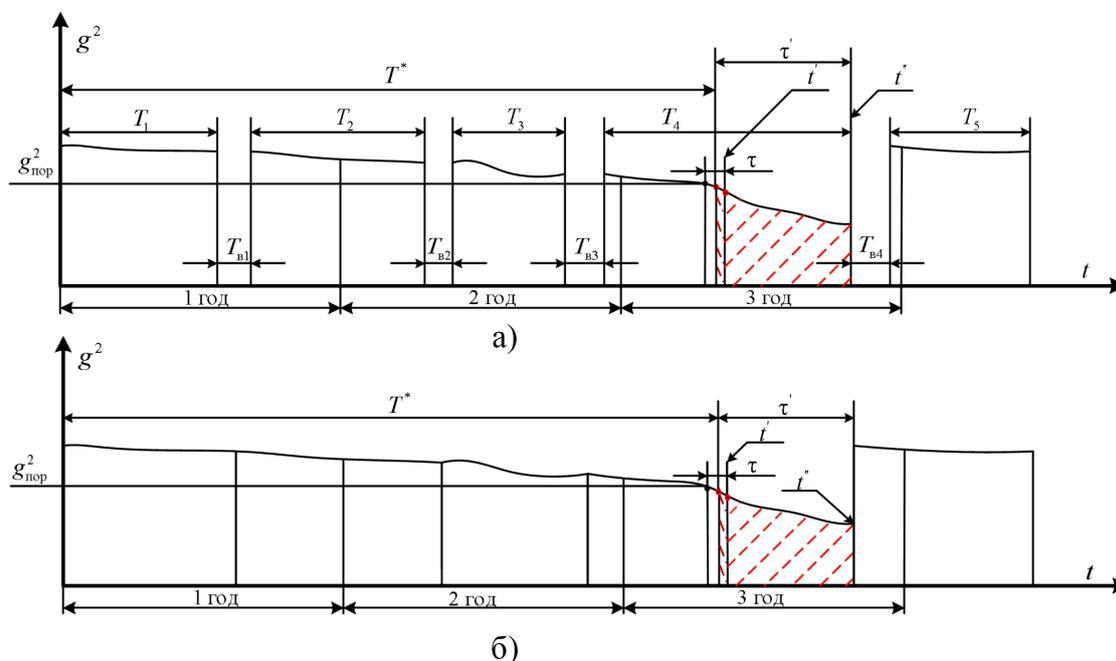


Рис. 14. Графическое отображение интервала неправильного функционирования в процессе эксплуатации радиосредств (а) и резервируемой методом замещения системы (б)

На рис. 14 а), б) показаны интервалы времени работоспособного состояния T_i и восстановления T_{vi} ($i = 1, \dots, n$) радиосредств, а так же среднее время выхода определяющих

параметров за пределы допуска T^* и интервал времени неправильного функционирования τ' . На рис. 14 б) время $T_{bi} \approx 0$, поскольку в этот момент происходит отказ функционирования радиосредства и осуществляется включение резервного комплекта. Важно отметить, что, работающие в круглосуточном режиме встроенные средства функционального контроля радиосредств, сигнализируют о наступлении отказа (для оператора эти отказы являются внезапными и явными), что позволяет своевременно осуществить включение резервного комплекта средств радиосвязи в работу. При этом выявить момент снижения качества функционирования $g_{\text{пор}}^2$ средств связи ниже допустимого без использования средств измерений не представляется возможным, что, как было отмечено выше, приводит к существованию продолжительных периодов τ' (на рис. 14 а), б) выделен красными пунктирными линиями), скрытых от служб эксплуатации, причин заниженных технологических показателей средств связи, носящих многодневный и даже многомесячный характер [27].

Выражение (10), с учетом того, что $T < T^*$ и равной вероятности выхода ПКФ за пределы допуска в интервалах $(0; \tau/2]$ и $(\tau/2; \tau]$ примет вид:

$$K_r(\tau) = \frac{T}{T + T_B + 0,5T\tau/T^*}. \tag{19}$$

Отношение T/T^* представляет собой вероятность наступления интервала неправильного функционирования $\tau/2$ в течение времени T , а произведение $0,5T\tau/T^*$ – среднее время задержки восстановления СРС. В случае резервируемой системы значение $0,5T\tau/T^*$ – среднее время задержки включения резерва в течение времени T .

Первое неравенство системы (15) при экспоненциальном законе распределения вероятности безотказной работы СК запишем в виде:

$$\exp\left(-\frac{n\Delta t_k^*}{\tau}\right) \geq \frac{T}{T + 0,5T\tau/T^*} = \frac{T^*}{T^* + 0,5\tau}. \tag{20}$$

Решение неравенства (20) относительно τ приводит к следующей формуле:

$$\tau \geq \sqrt{2nT^*\Delta t_k^*}. \tag{21}$$

При этом решение (21) практически не зависит от кратности резервирования и будет выполняться уже при однократном резервировании методом замещения (дублирования) СРС.

На рис. 15 а), б) представлены графики зависимости вероятности безотказной работы средств контроля $P_{\text{ск}}(n, \tau)$ (12) при обеспечении неравенства (20) на интервале времени $nT_{\text{ск}}$ ($n = 1, \dots, 10$), график зависимости $K_r(\tau)$ (14) и $T^* = 20000$ (ч) ($T_B = 0$), $\Delta t_k^* = 1/12$ (ч).

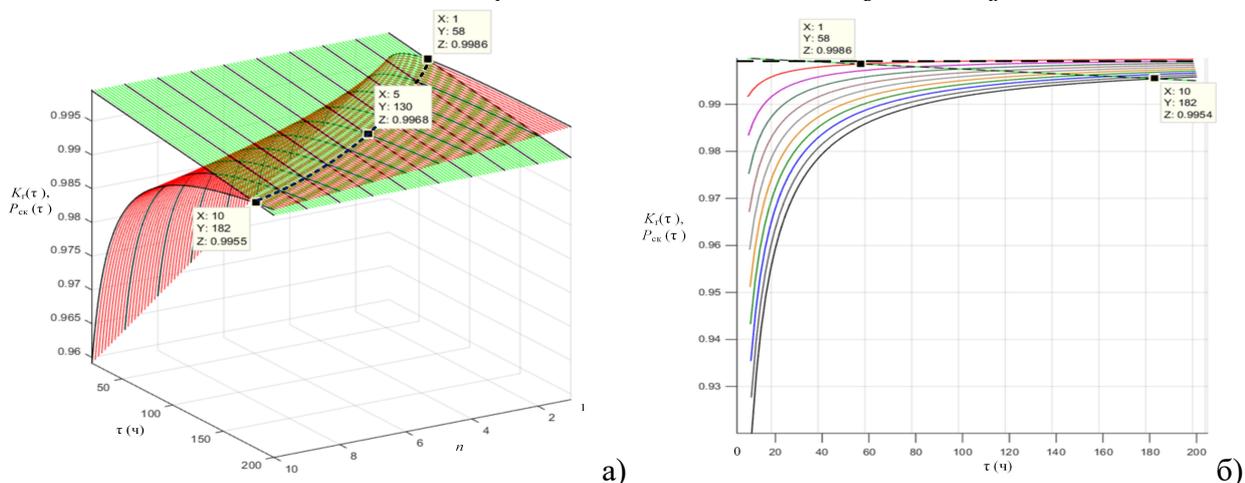


Рис. 15. а), б) Графики зависимости $P_{\text{ск}}(n, \tau)$, $K_r(\tau)$

На рис. 15 а) кривая линия, образованная пересечением графиков функций $P_{ск}(n, \tau)$ и $K_r(\tau)$ (21), содержит множество точек с координатами (n, τ) , обеспечивающих $\max K_r(\tau)$.

Решение (21) получено при наихудших условиях – экспоненциальном законе распределении вероятности безотказной работы СК и может служить, при сохранении остальных параметров равными, в качестве оценки минимальной частоты дискретного ФК СРС. При других законах распределения вероятности безотказной работы СК осуществлять ФК радиосредств возможно с большей частотой.

5.6. Блок-схема алгоритма четвертого этапа методики по обеспечению требуемого значения коэффициента готовности средств радиосвязи автоматизированного радиоцентра

Целью четвертого этапа методики ФК средств радиосвязи АРЦ является обеспечение выполнения второго нестрогого неравенства условий (15) в виде: $\max K_r(\tau) \geq K_{r\text{треб}}$.

Рассмотрим порядок работы четвертого этапа методики в виде алгоритма, представленного на рис. 16:

- 1) ввести исходные данные: $T, T_{ск}, K_{r\text{треб}}, \Delta t_k^*, n$;
- 2) применить формулы из теории надежности (например (13)) и обеспечить выполнение условия $K_r > K_{r\text{треб}}$ (неравенство строгое);

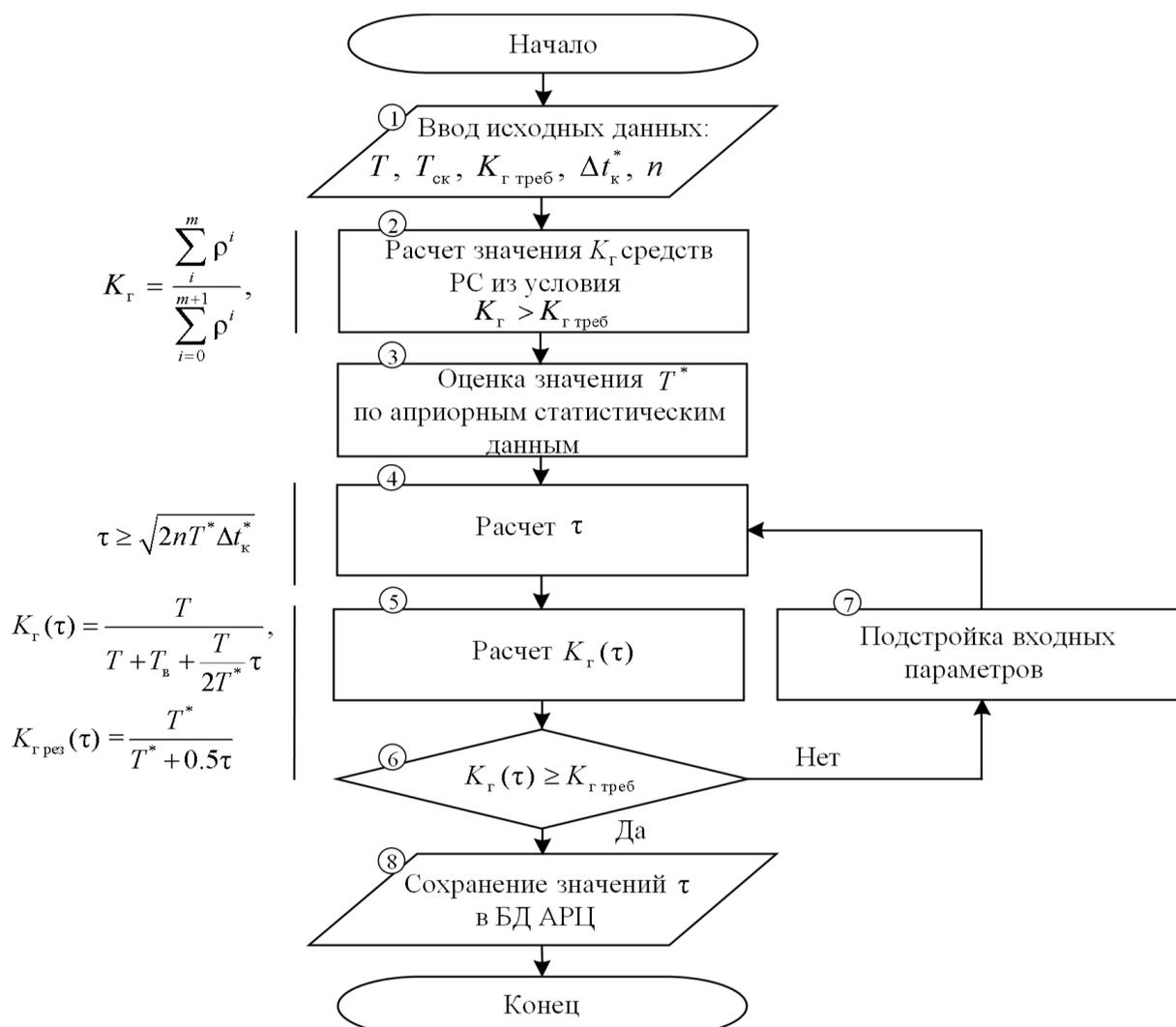


Рис. 16. Блок-схема алгоритма четвертого этапа методики по обеспечению требуемого значения коэффициента готовности радиосредств автоматизированного радиоцентра

3) произвести предварительную оценку среднего времени выхода определяющих параметров за пределы своих допусков $T^*(g^2 \geq g_{\text{пор}}^2)$ по имеющейся статистике параметрических отказов. Если таких статистических данных нет, то априорную оценку среднего времени выхода определяющих параметров за пределы своих допусков осуществить из следующего выражения $T^* \approx (2 \div 4)T$, а в процессе непосредственного применения по назначению контролируемых радиосредств (всей автоматизированной сети радиосвязи [1, 28]) производить ее коррекцию по собранной статистике параметрических отказов [18, 19];

4) рассчитать с помощью выражения (21) периодичность ФК СРС. Расчет τ осуществлять с $n = 1$ и т. д.;

5) определить значение $K_r(\tau)$ по формуле (14);

6) проверить соблюдение условия $K_r(\tau) \geq K_{r \text{ треб}}$. Проверку осуществлять с $n = 1$ и т. д. и добиться выполнения условия $K_r(\tau) \geq K_{r \text{ треб}}$ при максимальном значении n . Если условие выполняется, то осуществляем переход к шагу 8, если нет, то к шагу 7;

7) произвести корректировку входных параметров и добиться выполнения условия $K_r(\tau) \geq K_{r \text{ треб}}$;

8) сохранить значения τ в БД АРЦ.

Заключение

Используемые в настоящее время методы повышения надежности объектов (систем) в своих математических выражениях не учитывают интервал времени неправильного функционирования, который возникает из-за нераспознанного (скрытого) параметрического отказа, т. е. они определены для случая идеального диагностического обеспечения, что не соответствует действительности. В настоящей методике показано, что при применении резервирования именно интервал неправильного функционирования СРС будет оказывать основное влияние на их коэффициент готовности, и благодаря адаптации радиоволнового метода неразрушающего контроля к ФК СРС это влияние удастся сократить.

Новизна предложенной методики функционального контроля средств радиосвязи АРЦ заключается в том, что в ней произведен учет интервала неправильного функционирования при обеспечении требуемого значения коэффициента готовности СРС, что позволяет:

1) своевременно, с требуемой достоверностью, выявлять постепенные (скрытые) отказы, как передающих, так и приемных радиосредств, благодаря измерению значений их ПКФ в процессе функционирования;

2) осуществить переход от планово-предупредительной стратегии технического обслуживания радиосредств на АРЦ к техническому обслуживанию по фактическому техническому состоянию, за счет репликации данных об их техническом состоянии;

3) обосновать скважность проведения процедур контроля РПУ и РПДУ на АРЦ, а также режим работы контролируемых средств и обеспечить высокую надежность СРС в процессе длительной эксплуатации на АРЦ.

Литература

1. Аллакин В.В., Голунов М.В. Анализ научно-методического аппарата удаленного мониторинга технического состояния информационно-телекоммуникационных сетей и систем // Техника средств связи. 2020. № 4 (152). С. 17-36.
2. Ключев В.В., Пархоменко П.П., Абрамчук В.Е. Технические средства диагностирования. – М.: Машиностроение, 1989. – 672 с.
3. Ключев В.В., Соснин Ф.Р., Ковалев А.В. Неразрушающий контроль и диагностика: справочник / Под общ. ред. В. В. Ключева. М.: Машиностроение, 2005. 656 с.
4. Будко П.А., Федоренко В.В. Управление в сетях связи. Математические модели и методы оптимизации: Монография. – М.: Издательство физико-математической литературы, 2003. 539 с.

5. Федоренко В.В., Будко П.А. Расчет эксплуатационных допусков на параметры каналообразующей аппаратуры // Известия высших учебных заведений. Радиоэлектроника. 2000. № 4. С. 55-60.
6. Будко Н.П., Винограденко А.М., Меженев А.В. К вопросу обоснования понятийного аппарата неразрушающего экспресс-контроля технического состояния оборудования системы связи и радиотехнического обеспечения аэродрома // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2019. Т. 11. № 6. С. 30-44.
7. Абрамов О.В. Планирование профилактических коррекций параметров технических устройств и систем // Информатика и системы управления. 2017. № 3 (53). С. 55-66.
8. Абрамов О.В., Розенбаум А.Н. Управление эксплуатацией систем ответственного назначения. Владивосток: Дальнаука, 2000. 200 с.
9. Федоренко В.В. Способ контроля средств радиосвязи по показателю качества // Механизация и автоматизация управления. 1991. № 2. С. 19-22.
10. Голунов М.В. Аналитическая модель контроля технического состояния радиосредств радиолинии в процессе функционирования с предварительной оценкой сигнальной и помеховой обстановки в канале связи // Техника средств связи. 2022. № 1 (157). С. 69-95.
11. Улахович Д.А. Цифровая обработка сигналов. Краткий курс. – СПб.: ВАС, 2017. – 408 с.
12. Филимонов В.А., Остроумов О.А. Теория электрической связи: Учеб. пособие: В 2 ч. Ч. 1. СПб.: ВАС, 2015. 200 с.
13. Федоренко В.В. Математическая модель системы передачи сигналов для решения задач контроля // Электронное моделирование. 1991. № 6. С. 85-88.
14. Волков Л.Н., Немировский М.С., Шинаков Ю.С. Системы цифровой радиосвязи: базовые методы и характеристики: Учеб. пособие. – М.: Эко-Трендз, 2005. – 392 с.
15. Семисошенко М.А. Помехоустойчивость линий декаметрового радиосвязи, осуществляющих передачу дискретных сообщений ионосферными волнами // Радиотехника, электроника и связь: сборник докладов V Международной научно-технической конференции (Омск, АО «ОНИИП», 07-09 октября 2019 г.). С. 9-16.
16. Сикарев А.А., Соболев В.В. Функционально устойчивые демодуляторы сложных сигналов. – М.: Радио и связь, 1988. – 224 с.
17. Сикарев А.А., Фалько А.И. Оптимальный прием дискретных сообщений. – М.: Связь, 1978. – 328 с.
18. Половко А.М., Гуров С.В. Основы теории надежности. СПб.: БХВ–Петербург, 2006. 704 с.
19. Черкесов Г.Н. Надежность аппаратно-программных комплексов. Учебное пособие. СПб.: Питер, 2005. 479 с.
20. Голунов М.В. Своевременность контроля технического состояния средств радиосвязи // Техника средств связи. 2021. № 4 (156). С. 61-68.
21. Давыдов П.С. Техническая диагностика радиоэлектронных устройств и систем. Москва: Радио и связь, 1988. 256 с.
22. Губин Н.М., Матлин Г.М. Качество связи. Теория и практика. – М.: Радио и связь, 1986. – 272 с.
23. ГОСТ Р 51903-2002. Передатчики радиосвязи стационарные декаметрового диапазона волн. Основные параметры, технические требования и методы измерений.
24. ГОСТ Р 52016-2003. Приемники магистральной радиосвязи гектометрового-декаметрового диапазона волн. Параметры, общие технические требования и методы измерений.
25. Строганов А. Характеристики надежности современных ПЛИС // Электроника: Наука, технология, бизнес. 2019. № 4 (185). С. 52–58.
26. Моисеев С.А. Метод прогнозирующего контроля радиоэлектронной аппаратуры с адаптацией межконтрольного интервала: дис. ... канд. техн. наук: 05.11.13 / Моисеев Сергей Александрович. – Орел: ГУ-УНПК, 2013. 198 с.
27. Исаков Е.Е. Основные принципы построения устойчивой военной связи и возможные способы их реализации. СПб.: ВАС, 2015. 447 с.
28. Николашин Ю.Л., Будко П.А., Жуков Г.А. Основные направления модернизации декаметрового радиосредства связи // Техника средств связи. 2019. № 1 (145). С. 13-25.

References

1. Allicin V.V., Golunov M.V. Analysis of scientific and methodological apparatus for remote monitoring of the technical condition of information and telecommunication networks and systems. Means of communication equipment. 2020. No 4 (152). Pp. 17-36 (in Russian).
2. Klyuev V.V., Parkhomenko P.P., Abramchuk V.E. Technical means of diagnostics. Moscow: Mechanical Engineering, 1989. 672 p. (in Russian).
3. Klyuev V.V., Sosnin F. R., Kovalev A.V. Non-destructive testing and diagnostics: handbook. Under the general editorship of V.V. Klyuev. M.: Mechanical Engineering, 2005. 656 p. (in Russian).
4. Budko P.A., Fedorenko V.V. Management in communication networks. Mathematical models and optimization methods: Monograph. Moscow: Publishing House of Physical and Mathematical Literature, 2003. 539 p. (in Russian).
5. Fedorenko V.V., Budko P.A. Calculation of operational tolerances for parameters of channel-forming equipment. Radioelectronics. 2000. № 4. Pp. 55-60 (in Russian).
6. Budko N.P., Vinogradenko A.M., Mezhenov A.V. On the issue of substantiation of the conceptual apparatus of non-destructive express control of the technical condition of the equipment of the communication system and radio engineering support of the airfield. High-tech technologies in space research of the Earth. 2019. Vol. 11. No. 6. pp. 30-44 (in Russian).
7. Abramov O.V. Planning of preventive corrections of parameters of technical devices and systems. Informatics and control systems. 2017. No. 3 (53). pp. 55-66 (in Russian).
8. Abramov O.V., Rosenbaum A.N. Management of operation of systems of responsible purpose. Vladivostok: Dalnauka, 2000. 200 p. (in Russian).
9. Fedorenko V.V. Method of control of radio communication facilities by quality indicator. Mechanization and automation of management. 1991. No. 2. pp. 19-22 (in Russian).
10. Golyunov M.V. Analytical model for monitoring the technical condition of radio equipment of a radio line in the process of functioning with a preliminary assessment of the signal and interference situation in the communication channel. Means of communication equipment. 2022. No. 1 (157). pp. 69-95 (in Russian).
11. Ulakhovich D.A. Digital signal processing. Short course. D.A. Ulakhovich – St. Petersburg: VAS, 2017. – 408 p. (in Russian).
12. Filimonov V.A., Ostroumov O.A. Theory of electrical communication: Textbook: In 2 hours 1. St. Petersburg: VAS, 2015. 200 p. (in Russian).
13. Fedorenko V.V. Mathematical model of a signal transmission system for solving control problems. Electronic modeling. 1991. No. 6. Pp. 85-88. (in Russian).
14. Volkov L.N., Nemirovskiy M.S., Shinakov Yu.S. Digital radio communication systems: basic methods and characteristics: Textbook. Moscow: Eco-Trends, 2005. – 392 p. (in Russian).
15. Semisoshenko M.A. Noise immunity of decimeter radio communication lines transmitting discrete messages by ionospheric waves. Radio engineering, electronics and communications: collection of reports of the V International Scientific and Technical Conference (Omsk, JSC "ONIP", October 07-09, 2019). pp. 9-16 (in Russian).
16. Sikarev A.A., Sobolev V.V. Functionally stable demodulators of complex signals. Moscow: Radio and Communications, 1988. – 224 p. (in Russian).
17. Sikarev A.A., Falko A.I. Optimal reception of discrete messages. Moscow, "Svyaz", 1978. – 328 p. (in Russian).
18. Polovko A.M., Gurov S.V. Fundamentals of reliability theory. St. Petersburg: BHV–Petersburg, 2006. 704 p. (in Russian).
19. Cherkesov G. N. Reliability of hardware and software complexes. Study guide. St. Petersburg: Peter, 2005. 479 p. (in Russian).
20. Golyunov M. V. Timeliness of monitoring the technical condition of radio communications equipment. Means of communication equipment. 2021. No. 4 (156). pp. 61-68 (in Russian).
21. Davydov P.S. Technical diagnostics of radio electronic devices and systems. Moscow: Radio and Communications, 1988. 256 p. (in Russian).
22. Gubin N.M., Matlin G.M. The quality of communication. Theory and practice. Moscow: Radio and Communications, 1986. – 272 p. (in Russian).

23. GOST R 51903-2002. Stationary radio transmitters of the decameter wave range. Basic parameters, technical requirements and measurement methods. (in Russian).
24. GOST R 52016-2003. Receivers of the mainline radio communication of the hectometer-decameter wave range. Parameters, general technical requirements and measurement methods. (in Russian).
25. Stroganov A. Reliability characteristics of modern FPGAs. Electronics: Science, technology, business. 2019. No. 4 (185). pp. 52-58 (in Russian).
26. Moiseev S. A. Method of predictive control of electronic equipment with the adaptation of the intercontrol interval: dis. ... Candidate of Technical Sciences: 05.11.13. Moiseev Sergey Alexandrovich. - Orel: GU-UNPK, 2013. 198 p. (in Russian).
27. Isakov E. E. Basic principles of building a stable military communication and possible ways to implement them. St. Petersburg: VAS, 2015. 447 p. (in Russian).
28. Nikolashin Yu. L., Budko P. A., Zhukov G. A. The main directions of modernization of the decameter communication system. Means of communication equipment. 2019. No. 1 (145). pp. 13-25 (in Russian).

Статья поступила 31 августа 2022 г.

Информация об авторе

Голунов Михаил Валерьевич – Адъюнкт кафедры Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного. Тел.: +7 (812) 247-98-42. E-mail: belka1213@mail.ru. Адрес: г. Санкт-Петербург, Тихорецкий проспект, д. 3.

Methodology of functional control of radio communication facilities of an automated radio center

M.V. Golyunov

Annotation. *In this technique, it is shown that when using redundancy, it is the interval of improper functioning of the radio communication sresdty that has the main effect on their readiness coefficient and, thanks to the adaptation of the radio wave method of non-destructive testing to the functional control of radio equipment, this influence can be reduced. The definition of this interval is a logical continuation of the model of the process of monitoring the technical condition of radio communication facilities, in which the reliability, accuracy and completeness of functional control have been previously assessed. **The purpose of the work** is to provide the required values of the readiness coefficients of the automated radio center's radio communication facilities due to timely and reliable identification of their type of technical condition (correct functioning) with limited resources of control facilities. **Novelty:** the developed methodology differs from the known ones in that it takes into account the interval of improper functioning of radio communication facilities while ensuring the required value of their availability coefficient. **Result:** a phased implementation of the target installation was carried out in the methodology and a mathematical expression was obtained for the timely identification of the technical condition of radio communication facilities. **The practical significance** lies in the possibility of making the transition from a planned preventive strategy of maintenance of radio equipment at an automated radio center to maintenance according to the actual technical condition due to timely and reliable identification of their type of technical condition.*

Keywords: *functional control, technical condition, parametric failure, means of radio communication, reliability, probability of error.*

Information on Autor

Golyunov Mikhail Valeryevich – Adjunct of the Department of the Military Academy of Communications named after Marshal of the Soviet Union S.M. Budyonny. Tel.: +7 (812) 247-98-42. E-mail: belka1213@mail.ru. Address: St. Petersburg, Tikhoretsky Prospekt, 3.

Для цитирования: Голунов М.В. Методика функционального контроля средств радиосвязи автоматизированного радицентра // Техника средств связи. 2022. № 3 (159). С. 30-52. DOI: 10.24412/2782-2141-2022-3-30-52.

For citation: Golyunov M.V. Methodology of functional control of radio communication facilities of an automated radio center. Means of Communication Equipment. 2022. No. 3 (159). Pp. 30-52. DOI: 10.24412/2782-2141-2022-3-30-52 (in Russian).

ВОПРОСЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

УДК 623.626:623.624.9

DOI: 10.24412/2782-2141-2022-3-53-61

Ретроспектива методов и средств радиоэлектронной защиты систем морской радиосвязи (по материалам зарубежной печати)

Кулешов И.А., Талагаев В.И., Мамончикова А.С.

Аннотация: В последние десятилетия бурное развитие видов и систем радиосвязи и появление радиоуправляемого оружия привело к существенному изменению характера использования радио в боевых действиях на море. В военных доктринах ведущих стран мира первым этапом любого вооруженного конфликта становится радиоэлектронная борьба, предполагающая проведение комплекса организационно-технических мероприятий по выявлению радиоэлектронных систем связи и управления силами и оружием, подавлению помехами каналов радиосвязи и защите от подобных воздействий своих систем управления и связи. **Цель работы** – ретроспективный анализ направлений развития методов и технических средств защиты систем радиосвязи зарубежных стран от радиоразведки и радиоэлектронного подавления и обеспечения безопасности передаваемой информации. **Научная и практическая значимость** такого анализа носит прикладной методический характер для исследователей тенденций развития и разработчиков помехозащищенных систем и средств радиосвязи, их защиты от радиоэлектронного подавления и обеспечения безопасности управляющей информации, циркулирующей в системах телекоммуникаций.

Ключевые слова: управление силами и средствами, радиосвязь, радиоэлектронная борьба, радиоэлектронное подавление, радиоэлектронная защита, методы защиты радиоканалов и сетей связи, информационная безопасность, криптография.

Введение

Идея подавления помехами радиосвязи противника с целью нарушения взаимодействия военных кораблей возникла вскоре после изобретения радио А.С. Поповым (7.05.1895 г.). Создание помех связи японских кораблей крейсером «Изумруд» и миноносцем «Громкий» в русско-японскую войну (1904-1905 гг.) явилось практическим применением этой идеи и положило начало радио и радиотехнической разведке (РР и РТР), радиоэлектронному подавлению (РЭП) радиоканалов (РК) связи преднамеренными помехами. На опыте первой мировой войны дальнейшее развитие методы и средства РТР и РЭП получили во вторую мировую войну [1], в послевоенные годы и, особенно, в настоящее время [2]. Как показал опыт настоящего времени, на первых этапах и в ходе вооруженных конфликтов средствами РТР, РР и РЭП ведется активная радиоэлектронная борьба (РЭБ), включающая выявление радиоэлектронных систем связи и управления силами и оружием, подавление помехами РК, и защиту от подобных воздействий своих систем управления и связи средствами радиоэлектронной защиты (РЭЗ) [3-6].

С этой целью в США, странах НАТО с 80-х годов разрабатываются корабельные и самолетные разведывательно-ударные комплексы, включающие комплексы управления ракетным оружием, средства связи, средства РР и РТР, РЭП РК пассивными и активными преднамеренными помехами. Защиту таких систем от РТР и РЭП зарубежные военные специалисты рассматривают как важнейший составной элемент радиоэлектронной защиты (РЭЗ), включающей кроме этого обеспечение электромагнитной совместимости радиоэлектронных систем, их защиту от ионизирующих излучений, электромагнитных импульсов (ЭМИ) и самонаводящегося оружия [7-9].

Важность защиты средств радиосвязи и систем радиоуправляемого оружия от РТР и РЭП представляет интерес не только для специалистов по радиосвязи, но и для специалистов по управлению силами, оружием и боевыми техническими средствами, управляемыми по

радио [10]. Вопросы защиты от РТР и РЭП систем управления ракетным оружием ВМС США, Великобритании, ФРГ, Италии, Израиля, Японии достаточно широко освещаются в зарубежной печати. Публикации же, посвященные радиоэлектронной защите систем и средств морской радиосвязи, носят разрозненный эпизодический характер [11, 12]. Это обусловлено тем, что разнообразные средства защиты в виде отдельных элементов и устройств входят в состав различных радиосредств, комплексов и систем морской радиосвязи [13-16].

В настоящее время радиосвязь продолжает оставаться основным средством управления силами и средствами на море, поэтому, как считают зарубежные специалисты, при решении стратегических, оперативных и тактических задач противоборствующие стороны с целью срыва управления будут стремиться воздействовать на связь и, в первую очередь, средствами РР и РЭП. Первоочередное применение средств РЭП обусловлено их преимуществами по сравнению со средствами огневого поражения: большой дальностью действия, оперативностью, возможностью быстрого перенацеливания и одновременного воздействия на несколько пространственно-рассредоточенных подавляемых приемных радиосредств, т. е. способностью нарушения функционирования всей системы управления силами на море. Поскольку процессу РЭП предшествует РР, проблема защиты систем и средств связи тесно связана с проблемой противодействия техническим средствам РР [17-19] и угрозами их информационной безопасности.

Особенности морской радиосвязи

Особенность связи с объектами в море: подводными лодками (ПЛ), надводными кораблями (НК) и летательными аппаратами (ЛА) – применение для обмена информацией только РК, т.е. использование общей со средствами РР и РЭП средой распространения сигналов. Излучающие передающие средства связи являются главным демаскирующим элементом систем радиосвязи, вызывающим особый интерес РР. Радиоизлучения, радиосигналы и их параметры служат основой при определении координат объектов, их классификации и слежения за ними, наведению и применению оружия, а также организации РЭП РК для срыва управления объектами [17, 20, 21].

Первые из указанных задач предполагается решать противоборствующими сторонами, преимущественно средствами РТР и РР и применением средств огневого поражения. Задача РЭП решается путем подавления приемных средств связи активными преднамеренными помехами и передачей ложных сигналов (дезинформации). По радиоизмерениям, в целях РЭП РР устанавливается факт работы радиосредств, пеленгуются объекты излучения, определяется необходимая для формирования помех частотно-вероятностно-временная структура сигналов подавляемых радиосредств [7-9, 20]. Функционально системы РР и РТР могут быть разделены на средства постоянного пассивного наблюдения и накопления информации о радиоизлучениях радиосредств противника и нарушениях регламентов связи со стороны своих изучающих средств. Второй вид РР и РТР – доразведка, которая незамедлительно реагирует на появление работы тех или иных радиосредств противоборствующей стороны с целью их подавления ранее установленными РР и РТР видами помех.

В зависимости от наличия в контуре РЭП, состоящем из функционально связанных средств РР и РЭП, априорных или текущих разведанных о сигналах и методах их обработки в приемниках подавляемых радиосредств могут применяться различные типы активных преднамеренных помех радиосвязи. Условно они могут быть разделены на три основных класса: заградительные (шумовые), прицельные (структурные) и имитационные (близкие по форме к полезным сигналам). Отличительная особенность имитационных помех от заградительных и прицельных состоит в том, что они создаются для введения в систему управления (через систему связи) ложной информации, при отсутствии передач подавляемых радиосредств и переполнения накопителей информации [18, 21, 22].

По оценке зарубежных специалистов, имитационные помехи наиболее эффективны при подавлении автоматизированных систем и комплексов связи, на которые они производят такое же действие как вредные явления на трассе распространения сигналов, или проявляются в виде неисправности оконечного оборудования [12]. Отмечается, что заградительные и прицельные помехи целесообразно применять для подавления автоматизированной связи в тех случаях, когда подавление имитационными помехами не дает желаемого результата.

Независимо от степени автоматизации систем связи, конечным результатом действия активных преднамеренных помех является уменьшение количества полезной информации, циркулирующей в системе (вплоть до ее полного разрушения), и введения в нее дезинформации, вносящей ошибки в процесс управления объектами и оружием.

Обеспечение защиты систем и средств радиосвязи, по мнению зарубежных специалистов, возможно за счет комплекса организационно-технических мероприятий, направленных на обеспечение информационного обмена и введения ложной информации в условиях РЭП и РР. Они отмечают, что эффективность мер защиты от РР и РЭП определяется как техническими характеристиками радиосредств РК, методами управления потоками управляющей информации и связными ресурсами в системах в условиях массированного РЭП [9], так и способами защиты источников и получателей информации криптографическими методами [19, 23]. В соответствии с этим при создании военных систем радиосвязи особое значение придается трем основным направлениям: РЭЗ связи от РР и РЭП: защите РК, сетей связи и передаваемой информации.

Методы и средства защиты радиоканалов

Первое направление основывается на использовании в радиосредствах шумоподобных сигналов, псевдослучайной перестройки рабочих частот, помехоустойчивого кодирования, оптимальных методов обработки сигналов и других способов повышения скрытности и помехозащищенности радиосвязи. Зарубежные военные специалисты отмечают, что основной принцип радиопротивоборства состоит в возможности создания помех любому приемному радиосредству, если его рабочие характеристики (частота и время передачи, полоса частот, вероятностно-временная структура сигналов и др.) известны в контуре РЭП и остаются неизменными. Очевидно, что при неизменных параметрах радиосредств вероятность обнаружения РР их работы достаточно велика, а погрешность измерения параметров сигналов и определение их вероятностно-временной структуры крайне мала. В силу этого, параметры и структуру сигналов для обеспечения разведзащищенности и помехозащищенности радиосредств необходимо изменять во времени случайным (псевдослучайным) образом, т. е. в средствах связи используются сигналы, в которых для РР нет никаких закономерностей и неопределенность последующего состояния сигнала (его параметры и структура) максимальна [7, 21, 24, 25].

Таковыми свойствами обладают применяемые в последние годы сложные сигналы с характеристиками, близкими к характеристикам обычного шума. Максимум сведений, которые можно получить в этом случае РР – это величина спектральной плотности мощности сигнала (шума). При формировании сложных сигналов по псевдослучайному закону изменяются, как правило, один (реже несколько) параметров сигналов. Сложные сигналы занимают полосу частот ΔF большую, чем требуется для передачи информации при фиксированной длительности сигнала и скорости передачи, т. е. база таких сигналов $B = \Delta F \cdot T$ всегда значительно больше 1. Вносимая таким образом в сигналы частотная избыточность, обуславливает основные свойства широкополосных радиосредств – их скрытность и помехозащищенность [4, 6].

При использовании широкополосных сигналов, прием информации может осуществляться при мощности сигнала, приходящейся на единицу полосы частот, меньшей,

чем спектральная плотность мощности обычного шума, что обеспечивает энергетическую, а, следовательно, и информационную скрытность работы радиосредств. Скрытность работы обеспечивается в широкополосных радиосредствах, прежде всего «шумоподобностью» сигналов. При приеме разведывательной станцией РЭП широкополосных сигналов на приемник, в котором отсутствует информация о структуре и способе формирования сигнала, сигналы будут восприниматься средствами РР как обычный шум. Отсутствие в контуре РЭП сведений о способе формирования (структуре и параметрах) полезного сигнала в случае обнаружения РР факта работы, радиосредства вынуждают противника создавать малоэффективные для широкополосных систем типы помех – широкополосные шумовые заградительные помехи, что обеспечивает помехозащищенность передачи информации.

Другой способ, вынуждающий средства РЭП применять менее эффективные в энергетическом отношении помехи, основан на быстрой перестройке частоты передачи по псевдослучайному закону через интервал, меньший времени реакции контура РЭП, т. е. времени необходимого контуру РЭП на обнаружение РР и пеленгование радиоизлучений, анализ структуры и параметров сигналов, постановку помех. Принцип кратковременности излучения применяется также в системах быстро- и сверхбыстродействующей («взрывной») радиосвязи [6, 7]. Кроме этого, в целях защиты от РЭП находят широкое применение методы обработки, основанные на пространственных, поляризационных, амплитудных, частотно-временных и структурных различиях полезных и помеховых сигналов [4, 7, 26], а также способы выбора безопасных рабочих частот с учетом особенностей их распространения, например в декаметровом (ДКМ) РК [22].

Таким образом, по первому направлению защиты средств радиосвязи от РР и РЭП преимущественное развитие получают методы, обеспечивающие скрытность и помехозащищенность передачи информации за счет применения сигналов, обладающих максимальной неопределенностью сопутствующих (неинформационных) параметров для контура РЭП, что затрудняет обнаружение факта работы радиосредств и создание ими эффективных помех.

Защита систем и сетей связи средствами управления

Второе направление обеспечения защиты от РР и РЭП связано с оптимальным комплексным использованием связных ресурсов (радиосредств) сетей связи для обслуживания входящих потоков сообщений при действии преднамеренных помех в РК радиосетей [27]. Это направление предполагает использование в сети связи специальных средств РЭЗ, обеспечивающих сбор, анализ и выдачу в систему управления сетью (в центральный процессор) данных об электромагнитной обстановке, в том числе о преднамеренных помехах в радиоканалах. Такие средства в виде отдельных элементов и устройств могут входить в состав радиосредств, и являются элементами радиосети [13-16]. На основе данных о помехах в процесс управления сетью, или комплексом связи, вносятся изменения по перераспределению информационного потока и каналов связи, переводом радиосредств в скрытные и помехозащищенные режимы работы и др. По оценке зарубежных специалистов [4, 15], особое значение методы оптимального управления сетью, учитывающие наличие помех в РК, имеют в автоматизированных системах и комплексах связи.

Функции любой системы управления автоматизированной связью состоят в определении и анализе состояния системы и принятии решений о выдаче команд по изменению в объекте управления, т. е. в системе, или сети связи [28]. Задача управления сетью может быть разделена на две: управление при изменении объема и характера распределения информационных потоков в нормальных условиях и управление при нарушении нормальной работы – огневом и радиоэлектронном поражении элементов системы (подавление РК преднамеренными помехами) [15]. Принятие решений о выдаче команд по изменению в системе управления сетью представляет собой процесс формирования управляющих воздействий по использованию связных ресурсов. Для

формального описания процесса управления может использоваться понятие плана управления – полного набора значений управляющих переменных, регламентирующих использование ресурсов сети для обслуживания сообщений различных классов [23].

Физическая структура систем управления сетью определяется реализацией логических элементов в центральном процессоре сети и процессорах автоматизированных комплексов связи подводных лодок (ПЛ), надводных кораблей (НК) и летательных аппаратов (ЛА). При этом специалистами выделяются четыре типа процессов управления, выполняемых ЭВМ, условно обозначенных нами как *A*-, *B*-, *D*-процессы. *A*-процессы соответствуют уровню принятия решений по потоку сообщений, а *B*-процессы – уровню принятия решений по каждому отдельному сообщению потока. По мере необходимости, *A*-процессы обращаются к распределенной базе данных, где содержится информационное отображение сети и источник данных для расчета плана управления [13]. В базе данных также имеется статическая модель действующей системы РР и РЭП противника, которая учитывается при расчете плана управления. Корректировка модели может производиться по мере поступления от систем освещения электромагнитной обстановки сведений о появлении новых и передвижных средств РЭП в зонах действия получателей информации – ПЛ, НК и ЛА. План управления заносится в таблицы управления, откуда считывается *B*-процессом при обслуживании каждого требования на связные ресурсы сети.

Решение любой из задач управления сетью, связанных с расчетом плана управления и принятием решений по его изменению (*A*- и *B*-процессы), предполагает наличие в системе управления сетью функций сбора информации о состоянии объекта управления (нагрузке, исправности радиосредств, состоянию радиоканалов, наличию и параметрах преднамеренных помех и др.) и контроля исполнения принятых решений. Для реализации этих функций используются *C*- и *D*-процессы. *C*-процессы могут быть стандартизированы для всех задач управления и выделены в службу информационного отображения состояния элементов сети связи (сетеметрии) [15].

Для отображения текущего состояния сети организуется распределенная база данных информационного отображения, к которой и обращаются *A*-процессы. Алгоритмы, реализующие *C*-процесс, корректируют соответствующие компоненты базы данных с использованием информации о текущем состоянии элементов сети. *A*-, *B*- и *C*-процессы являются общими для любых систем автоматизированной связи. *D*-процессы дополняют алгоритмы управления сетью радиосвязи в условиях РР и РЭП и соответствуют уровню принятия решений о наличии и параметрах преднамеренных помех в радиоканалах сети. *D*-процессы реализуются специальными программно-техническими средствами сбора и анализа данных об электромагнитной обстановке. Такие средства входят в состав оборудования приемных центров сети и комплексов связи объектов [23, 27, 29].

Текущие данные о помехах считываются *C*-процессом и участвуют в корректировке базы данных информационного отображения сети. Ввиду ограниченности связных ресурсов кораблей и самолетов для передачи данных о помехах в радиоканалах и обмена командами о изменении плана использования радиосредств в сетях связи США и стран НАТО может производиться как по служебным, так и по информационным радиоканалам. В печати производится и другой вариант организации сбора данных о помехах в радиоканалах сети, при котором для этих целей используются наземные станции, размещаемые в районах, приближенных к районам действия кораблей и самолетов [13, 23].

Защита информации

Обеспечение безопасности информации, циркулирующей по РК и в сетях радиосвязи – третье направление защиты морских телекоммуникаций от РР и РЭП. Со времен появления проводной и радио связи, защита от РР и РЭП в РК и в информационно-телекоммуникационных системах осуществлялась путем использования специальной

засекречивающей аппаратуры и средств ручного и автоматического шифрования информации, за счет передачи методами и техническими средствами криптографии, впоследствии, за счет цифровых технологий, названных скремблерами.

В последнее время стало очевидным, что деятельность по защите информации и ее безопасности является одной из важнейших задач обеспечения обороноспособности РФ. В Концепции безопасности России говорится об усилении угрозы национальной безопасности РФ в информационной сфере. Серьезную обеспокоенность вызывает стремление ряда мировых стран к доминированию в мировом информационном пространстве, к вытеснению России с внешнего и внутреннего информационного рынка, которое сочетается с разработкой концепции ведения информационных войн, предусматривающей создание средств опасного воздействия на её информационные сферы, нарушение функционирования информационных и телекоммуникационных систем, а также сохранности информационных ресурсов, получение несанкционированного доступа к ним [30-32].

Безопасность обмена служебной и полезной управляющей информацией, непосредственно в системах, связана с защитой программно-технических средств управления от РР и РЭП и предотвращения доступа к информационным ресурсам сетей связи. В современном мире информационная безопасность стала самостоятельным направлением исследований и важнейшим инструментом в борьбе в информационной сфере, что требует отдельного изучения методов и средств ее обеспечения в системе радиосвязи ВМФ.

Заключение

Таким образом, защита морских военных сетей и комплексов радиосвязи от РР и РЭП, наряду с применением скрытных и помехозащищенных радиосредств, развивается по пути оптимизации управления связными ресурсами сетей и обеспечения безопасности передаваемой информации средствами криптографии. В целом, анализ материалов зарубежной печати свидетельствует о существенном увеличении объемов работ и направляемых ассигнований на создание высокоавтоматизированных систем и сетей радиосвязи и средств их радиоэлектронной и информационной защиты.

В современных условиях традиционное, классическое соревнование радиоэлектронных автоматизированных систем связи, РЭЗ, РР и РЭП РК по скорости реакции и энергетической эффективности переходит в сферу конкуренции их автоматизированных систем управления, а в перспективе, в область противоборства интеллектуальных робототехнических комплексов, т. е. в сферу борьбы машин.

Литература

1. Рачков В.К., Михедько М.С., Макаров Д.М. Развитие способов радиопротиводействия в войне на море // Морской сборник. 1971. № 5. С. 23-29.
2. Макаренко С.И. Информационное противоборство и радиоэлектронная борьба в сетевых войнах начала XXI века. СПб. Научно-технологические исследования. 2017. 546 с.
3. Макаренко С.И. Модели системы связи в условиях преднамеренных дестабилизирующих воздействий и ведения разведки. СПб. Научно-технологические исследования. 2020. 337 с.
4. Уильям И. Роуля. Разведка, секретность и электронная война // Signal. 1978. V. 32. № 6. С. 15-17.
5. Памей А. Радиоэлектронная борьба в израильско-арабских войнах // Военно-исторический журнал. 1980. № 7. С. 85-91.
6. Радионов Б., Никитин Е., Новичков Н. Радиоэлектронная война в Южной Атлантике // Морской сборник. 1983. № 1. С. 77-84.
7. Таманский В. Радиоэлектронная борьба в планах США и НАТО // Зарубежное военное обозрение. 1985. № 7. С. 10-12.
8. Гранкин В.Я. Создание, задачи и способы РЭБ // Военная мысль. 1978. № 11. С. 41-42.
9. Памей А.И. Радиоэлектронная борьба. М.: Воениздат, 1981. 152 с.

10. Сборник статей по ведению «Электронной войны» вооруженными силами США. Перевод № 3072-3085 МО, 1979. 8 с.
11. Винсент Дамбраускас. Связь в условиях помех // Signal. 1978. V. 32. № 6. С. 6-8.
12. Инсе Н. Электронная война и системы связи НАТО // Signal. 1978. V. 32. № 6. С. 66-73.
13. Радиоэлектроника за рубежом // Экспресс-информация. 1985. Вып. 15 (1069). С. 10-11.
14. Гранкин В.Я. Средства радиоэлектронного противодействия и их применение в локальных войнах // Военный зарубежник. 1972. № 3. С. 27-32.
15. Френк С. Гутлебер, Лорен Додрихсен. Использование системы TRI-TAC в интересах электронной войны. 1983. 76 с.
16. Партала А. Корабельные средства РЭБ США // Морской сборник. 1986. № 3. С. 70-75.
17. Тюльпанов Б. Обеспечение ВМС США разведывательной информацией // Морской сборник. 1985. № 5. С. 72-74.
18. Шлезингер Р. Дж. Радиоэлектронная война. М.: Воениздат, 1963. 158 с.
19. Аристов А., Родионов Б. Разведывательно-ударные комплексы, их влияние на ход вооруженной борьбы на море // Морской сборник. 1985. № 6. С. 26-31.
20. Владиславский В. Применение ЭВМ в средствах радиоэлектронной борьбы // Зарубежное военное обозрение. 1977. № 9. С. 54-59.
21. Вакин С.А., Шустов Л.Н. Основы радиопротиводействия и радиотехнической разведки. М.: Сов. Радио, 1968. 238 с.
22. Лебедев Д.В., Талагаев В.И. Выбор безопасных рабочих частот для декаметровых каналов связи в условиях радиоразведки и радиоэлектронного подавления. Тематический научно-технический сборник ФГУП «24 ЦНИИ МО». 2011. С. 7-10.
23. Азаров Б., Кирьянчиков А., Стефанович А. Управление использованием спектра радиочастот в ВМС США // Зарубежное военное обозрение. 1983. № 6. С. 70-74.
24. Гиндин П., Чукалин С. Средства радиоэлектронной борьбы ВМС США // Зарубежное военное обозрение. 1977. № 4. С. 75-79.
25. Варакин Л.Е. Системы связи с шумоподобными сигналами. М.: Радио и связь, 1985. 384 с.
26. Защита от радиопомех, под ред. Максимова М.В. М.: Сов. Радио, 1976. 182 с.
27. Талагаев В.И. Управление системой связи и обмена данными ВМФ в условиях радиоэлектронного подавления // Техника средств связи. 2018. № 4 (144). С. 130-134.
28. Давыдов Г.Б. Информация и сети связи. М.: Наука, 1984. 156 с.
29. Талагаев В.И. Аппаратно-программные комплексы обеспечения устойчивости автоматизированной системы связи ВМФ // Техника средств связи. 2021. № 2 (154). С. 23-30.
30. Макаренко С.И. Информационная безопасность. Ставрополь: СФ МГТУ им. М.А. Шолохова, 2009. С. 372.
31. Аверченков В.И., Рытов М.Ю., Кондрашин Г.В., Рудановский М.В. Системы защиты информации в ведущих зарубежных странах. Брянск: Изд. БГТУ, 2007. 225 с.
32. Гетманцев А.А., Липатников В.А., Плотников А.М., Сапаев Е.Г. Безопасность ведомственных информационно-телекоммуникационных систем. СПб.: ВАС, 1997. 200 с.

References

1. Rachkov V.K., Mikhedko M.S., Makarov D.M. *Razvitie sposobov radioprotivodejstviya v vojne na more* [Development of methods of radio countermeasures in the war at sea]. Marine Collection. 1971. No. 5. Pp. 23-29. (in Russian).
2. Makarenko S.I. *Informacionnoe protivoborstvo i radioelektronnaya bor'ba v setecentricheskih vojnah nachala 21 veka* [Information confrontation and electronic warfare in network-centric wars of the beginning of the 21st century]. St. Petersburg. Science intensive technologies. 2017. P. 546. (in Russian).
3. Makarenko S.I. *Modeli sistemy svyazi v usloviyah prednamerennyh destabiliziruyushchih vozdeystvij i vedeniya razvedki* [Models of the communication system in the context of deliberate destabilizing impacts and intelligence]. St. Petersburg. Science intensive technologies. 2020. P. 337. (in Russian).
4. William I. Rowlia. *Razvedka, sekretnost' i elektronnaya vojna* [Intelligence, Secrecy and Electronic Warfare]. Signal. 1978. V. 32. No. 6. Pp. 15-17. (in Russian).
5. Pamei A. *Radioelektronnaya bor'ba v izrail'sko-arabskih vojnah* [Electronic warfare in the Israeli-Arab wars]. Military History Journal. 1980. No. 7. Pp. 85-91. (in Russian).

6. Radionov B., Nikitin E., Novichkov N. *Radioelektronnaya vojna v YUzhnoj Atlantike* [Electronic warfare in the South Atlantic]. Maritime Collection. 1983. No. 1. Pp. 77-84. (in Russian).
7. Taman V. *Radioelektronnaya bor'ba v planah SSHA i NATO* [Electronic warfare in the plans of the United States and NATO]. Foreign military review. 1985. No. 7. Pp. 10-12. (in Russian).
8. Grankin V.Ya. *Sozdanie, zadachi i sposoby REB* [Creation, tasks and methods of electronic warfare]. Military thought. 1978. No. 11. Pp. 41-42. (in Russian).
9. Pamey A.I. *Radioelektronnaya bor'ba* [Electronic warfare]. Voenizdat. 1981. Pp. 3-4. 152 (in Russian).
10. *Sbornik statej po vedeniyu «Elektronnoj vojny» vooruzhennymi silami SSHA* [A collection of articles on the conduct of "Electronic War" by the US military]. Translation NO. 3072-3085 MO. 1979. 8 p. (in Russian).
11. Vincent Dambrauskas. *Svyaz' v usloviyah pomekh* [Communication under Interference Conditions]. Signal. V. 32. No. 6. 1978. Pp. 6-8. (in Russian).
12. Ince N. *Elektronnaya vojna i sistemy svyazi NATO* [Electronic Warfare and NATO Communications Systems]. Signal. V. 32. No. 6. Pp. 66-73. (in Russian).
13. *Radioelektronika za rubezhom* [Radio electronics abroad]. Express information. issue 15 (1069). 1985. 3. Pp. 10-11(in Russian).
14. Grankin V.Ya. *Sredstva radioelektronnogo protivodejstviya i ih primeneniye v lokal'nyh voynah* [Means of electronic countermeasures and their use in local wars]. Foreign Military. No. 3. 1972. Pp. 27-32. (in Russian).
15. Frank S. Gutleber, Lauren Dodrichsen. *Sredstva radioelektronnogo protivodejstviya i ih primeneniye v lokal'nyh voynah*. [Using the system "TRI-TAC in the interests of electronic warfare]. 1983. 76 p. (in Russian).
16. Partala A. *Korabel'nye sredstva REB SSHA* [Ship means of electronic warfare of the USA]. Marine collection. No. 3. 1986. Pp. 70-75. (in Russian).
17. Tulips B. U.S. *Obespecheniye VMS SSHA razvedyvatel'noj informaciej* [Navy Intelligence]. Maritime Compendium. No. 5. 1985. Pp. 72-74. (in Russian).
18. Schlesinger R.J. *Radioelektronnaya vojna* [Electronic Warfare]. Voenizdat. 1963. 158 p. (in Russian).
19. Aristov A., Rodionov B. *Razvedyvatel'no-udarnye komplekсы, ih vliyanie na hod vooruzhennoj bor'by na more* [Reconnaissance and strike complexes, their influence on the course of the armed struggle at sea]. Marine Collection. No. 6. 1985. Pp. 26-31. (in Russian).
20. Vladislavsky V. *Primeneniye EVM v sredstvakh radioelektronnogo bor'by* [Use of computers in electronic warfare]. Foreign Military Review. 1977. No. 9. Pp. 54-59. (in Russian).
21. Vakin S.A., Shustov L.N. *Osnovy radioprotivodejstviya i radiotekhnicheskoy razvedki* [Fundamentals of Radio Countermeasures and Radio Technical Intelligence]. Moscow. Sov. Radio. 1968. 238 p. (in Russian).
22. Lebedev D.V., Talagaev V.I. *Vybor bezopasnykh rabochih chastot dlya DKM kanalov svyazi v usloviyah RR i REP* [Selection of safe operating frequencies for DCM communication channels in RR and RAP conditions]. Thematic scientific and technical collection of FSUE "24 TsNII MO. 2011. Pp 7-10. (in Russian).
23. Azarov B, Kiryanchikov A, Stefanovich A. *Upravleniye ispol'zovaniem spektra radiochastot v VMS SSHA* [Radio Frequency Spectrum Management in the US Navy]. Foreign Military Review. 1983. No. 6. Pp. 70-74. (in Russian).
24. Gindin P, Chukalin S. *Sredstva radioelektronnogo bor'by VMS SSHA* [Electronic warfare means of the US Navy]. Foreign Military Review. 1977. No. 4. Pp. 75-79. (in Russian).
25. Varakin L.E. *Sistemy svyazi s shumopodobnymi signalami* [Noise-like Signal Communication Systems]. Moscow. Radio and Communications. 1985. 384 p. (in Russian).
26. *Zashchita ot radiopomekh* [Protection against radio interference], ed. Maksimova M.V. Moscow. Sov. Radio. 1976. 182 p. (in Russian).
27. Talagaev V.I. *Upravleniye sistemoy svyazi i obmena dannymi VMF v usloviyah radioelektronnogo podavleniya* [Management of the communication and data exchange system of the Navy in the conditions of radio-electronic suppression]. Means of Communication Equipment. 2018. No. 4 (144). Pp. 130-134. (in Russian).
28. Davydov G.B. *Informatsiya i seti svyazi* [Information and communication networks]. Moscow. Nauka, 1984. 156 p. (in Russian).
29. Talagaev V.I. *Apparatno-programmnye komplekсы obespecheniya ustojchivosti avtomatizirovannoy sistemy svyazi VMF* [Hardware and software systems for ensuring the stability of the automated bathroom of the Navy communication system]. Means of Communication Equipment. No. 2 (154). 2021. Pp. 23-30. (in Russian).
30. Makarenko S.I. *Informatsionnaya bezopasnost'* [Information security]. SF MSTU named after M.A. Sholokhova. 2009. p. 372. (in Russian).

31. Averchenkov V.I., Rytov M.Yu., Kondrashin G.V., Rudanovsky M.V. *Sistemy zashchity informacii v vedushchih zarubezhnyh stranah* [Information security systems in leading foreign countries]. Bryansk State Technical University. Bryansk. Ed. BSTU. 2007. 225 p. (in Russian).

32. Hetmantsev A.A., Lipatnikov V.A., Plotnikov A.M., Sapaev E.G. *Bezopasnost' vedomstvennyh informacionno-telekommunikacionnyh sistem* [Security of departmental information and telecommunication systems]. Ed. VAS named after S.M. Budyonny. 1997. 200 p. (in Russian).

Статья поступила 16 августа 2022 г.

Информация об авторах

Кулешов Игорь Александрович – Заместитель генерального директора ПАО «Интелтех» по научной работе. Доктор технических наук, доцент. Область научных интересов: системы связи, навигации и управления специального назначения. Тел.: +7 (812)542-90-54. E-mail: inteltech@inteltech.ru.

Талагаев Владимир Иванович – Кандидат технических наук. Старший научный сотрудник, профессор Академии военных наук. Ведущий научный сотрудник ПАО «Интелтех». Тел. +7(812) 448-96-50. E-mail: intelteh@inteltech.ru.

Мамончикова Алина Сергеевна – Соискатель ученой степени к.т.н., патентный поверенный РФ. Ведущий специалист патентного бюро ПАО «Интелтех». Тел. +7(921) 343-60-99. E-mail: alinita33@mail.ru. Адрес: 197342, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Кантемировская, д. 8.

Retrospective of methods and means of electronic protection of marine radio communication systems (based on materials of foreign press)

I.A. Kuleshov, V.I. Talagaev, A.S. Mamonchikova

Annotation: *In recent decades, the rapid development of radio communication types and systems and the emergence of radio-controlled weapons have led to a significant change in the nature of the use of radio in hostilities at sea. In the military doctrines of the leading countries of the world, the first stage of any armed conflict is electronic warfare, which involves a set of organizational and technical measures to identify electronic communication systems and control forces and weapons, suppress interference with radio communication channels and protect their control and communication systems from such influences. The purpose of the work is a retrospective analysis of trends in the development of methods and technical means for protecting radio communication systems of foreign countries from radio intelligence and electronic suppression and ensuring the safety of transmitted information. The scientific and practical significance of such analysis is of an applied methodological nature for researchers of trends in the development and developers of noise-proof systems and means of radio communication, their protection against electronic suppression and ensuring the security of control information circulating in telecommunication systems.*

Keywords: *management of forces and means, radio communications, electronic warfare, electronic suppression, electronic protection, methods of protection of radio channels and communication networks, information security, cryptography.*

Information about the authors

Igor Aleksandrovich Kuleshov – The deputy of general director of PJSC "Inteltech" on scientific work. Dr.Sci.Tech., the senior lecturer. Field of research: Control systems and communications. Tel.: +7 (812)542-90-54. E-mail: KuleshovIA@inteltech.ru.

Vladimir Ivanovich Talagaev – Candidate of Technical Sciences. Senior Researcher, professor of the Academy of Military Sciences. Leading researcher at PJSC «Inteltech». Tel. +7(812) 448-96-50. E-mail: intelteh@inteltech.ru.

Alina Sergeevna Mamonchikova – Candidate of PhD degree. Leading expert of the Patent Office of PJSC «Inteltech». Tel +7(921) 343-60-99. E-mail: alinita33@mail.ru.

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

Для цитирования: Кулешов И.А., Талагаев В.И., Мамончикова А.С. Ретроспектива методов и средств радиоэлектронной защиты систем морской радиосвязи (по материалам зарубежной печати) // Техника средств связи. 2022. № 3 (159). С. 53-61. DOI: 10.24412/2782-2141-2022-3-53-61.

For citation: Kuleshov I.A., Talagaev V.I., Mamonchikova A.S. Retrospective of methods and means of electronic protection of marine radio communication systems (based on materials of foreign press). Means of Communication Equipment. 2022. No. 3 (159). Pp. 53-61. DOI: 10.24412/2782-2141-2022-3-53-61 (in Russian).

УДК 004.3.621.372

DOI: 10.24412/2782-2141-2022-3-62-73

Роль и место электромагнитного оружия при реализации наступательной стратегии в информационной специальной операции

Иванов В.А., Двилянский А.А., Иванов И.В., Гондаренко Е.А.

Аннотация. *Целью* статьи является постановка проблемы, раскрывающей степень угроз, основанных на принятых противником («коллективным Западом») концепций проведения и реализации наступательных стратегий посредством проведения информационных специальных операций, в том числе и посредством деструктивных электромагнитных воздействий, как элемента информационной войны, направленной против критически важных сегментов информационной инфраструктуры государства, к которым относятся автоматизированные системы мониторинга, управления и контроля крупными и географически распределенными инфраструктурными системами государств, являющимся целью воздействия и агрессии. **Результат** заключается в систематизации понятия наступательной стратегии в информационной специальной операции. **Практическая значимость** заключается в возможности применения представленных в статье положений для составления модели угроз объектам критической информационной угрозы на различных этапах построения систем и комплексов защиты в рамках информационной безопасности критических объектов.

Ключевые слова: критическая информационная инфраструктура, наступательные стратегии, электромагнитное оружие, автоматизированные системы мониторинга, управления и контроля.

Актуальность

Объекты национальной инфраструктуры, в том числе информационной, обеспечивающие жизненно важные общественные функции, всегда рассматривались противоборствующими сторонами в качестве потенциальных «мишеней» для воздействия. Среди них особо выделяются объекты, частичная деградация или полная потеря функциональности которых способна влиять на жизнедеятельность общества и государства, а также приводить к чрезвычайным ситуациям определенного уровня и масштаба. К таким объектам относятся объекты критической информационной инфраструктуры (КИИ), обеспечивающие оборону и связь, транспорт и энергетику, финансы, науку и образование, промышленное производство и управление, средства массовой информации (СМИ).

Целенаправленное деструктивное электромагнитное воздействие посредством электромагнитного импульса (ЭМИ) способно приводить к функциональному и катастрофическому поражению электронных компонентов объектов КИИ (средств вычислительной техники (СВТ), состоящих из сверхбольших интегральных схем (СБИС) с высокой степенью интеграции элементов, которое проявляется в разрушении, плавлении и выгорании металлизации контактных дорожек, и, как следствие, деградации параметров компонентов объектов КИИ – компьютерного оборудования. Все это способствует повышению уязвимости оборудования к токовым перегрузкам при данном виде облучения, искажению обрабатываемой информации, за счет возникающих в информационных сетях внутренних электромагнитных излучений и наводок (ВЭМИН), что в итоге ведет к невозможности обеспечения достоверности и непрерывности предоставляемых информационных услуг потребителям, дезорганизации систем управления, подавлению технических средств охраны (ТСО) особо охраняемых объектов, а также причинению значительного экономического ущерба [1, 2]. Поскольку компьютерные системы КИИ взаимосвязаны между собой, широкомасштабное воздействие ЭМИ может привести к возможным долгосрочным нарушениям в работе систем энергетики, транспортных систем, снабжения продовольствием и водой, лечебных учреждений, предприятий связи, систем связи силовых ведомств, использующих гражданскую инфраструктуру.

Наступательные стратегии в информационной специальной операции

Целью наступательных стратегий в информационной специальной операции (ИСО) является дезорганизация процесса и системы управления государством, путем воздействия на объекты КИИ, предусматривающие нарушение их функционирования, невозможность получения информации лицами, принимающими решения в критических секторах жизнедеятельности государства, формирования общественного мнения, направленного на развитие панических, агрессивных настроений и страха для принуждения законно избранной власти к принятию решений, выгодных лицам, проводящим данную операцию, проводятся в информационной среде (ИС), на основе получения, обработки и анализа информации и действий, основанных на предыдущих процедурах для достижения информационного превосходства в глобальной информационной среде (ГИС) [3-6].

Подготовка к информационной войне (ИВ) и проведение всех фаз ИСО требует всеобъемлющей политики, стратегии реализации, а также оперативной доктрины и персонала для её осуществления. Концептуальная разработка ИВ привела к тому, что многочисленные исследовательские группы, национальные советы и комиссии в США, России и других странах с развивающейся третьей волной информатизации начали разрабатывать политику и стратегии для подготовки к будущим наступательным информационным операциям, которые рассматриваются как операции по массовому нарушению или массовой защите, с потенциальными экономическими и социальными последствиями, сравнимыми с последствиями от применения химического, биологического и даже ядерного оружия [4-10].

Технические методы ИСО являются средством воздействия в нижней части классической иерархии, которая идет от политики к стратегии реализации, затем к оперативной доктрине (процедурам) и структуре (организации), которая применяет на конечном тактическом уровне технические операции ИВ. Иерархия «стекает» вниз, при этом каждый последующий её уровень реализует цели политики безопасности, комплексная реализация которой должна включать уровни во всех областях КИИ (табл. 1) [3, 4].

Таблица 1 – Иерархия политики, стратегии и операций, направленных на ведение информационной специальной операции в рамках информационной войны

Уровень (полномочия)	Описание роли
Политика	Определение цели и объектов информационных операций
Стратегия реализации	Разработать план применения политической, экономической, психологической и военной силы, необходимой в мирное и военное время для обеспечения максимальной поддержки политики.
Оперативная доктрина (процедура)	Создание организаций; планирование ресурсов; разработка и проверка возможностей (например, компетентность людей, правовые и технические средства); создание концепции операций (<i>CONOPS</i>) для реализации стратегии. Контроль разработки доктрины
Технический (тактический) уровень операции ИВ	Применение тактической доктрины – оснащение, обучение и развертывание технических средств для проведения информационных операций.

Стратегия реализации ИСО формулируется в виде плана, определяющего средства реализации политики (рис. 1). В соответствии с [3-5], выработка стратегии – это динамичный процесс, постоянно меняющийся для адаптации к внешней среде, чтобы соответствовать даже статичной политической позиции.

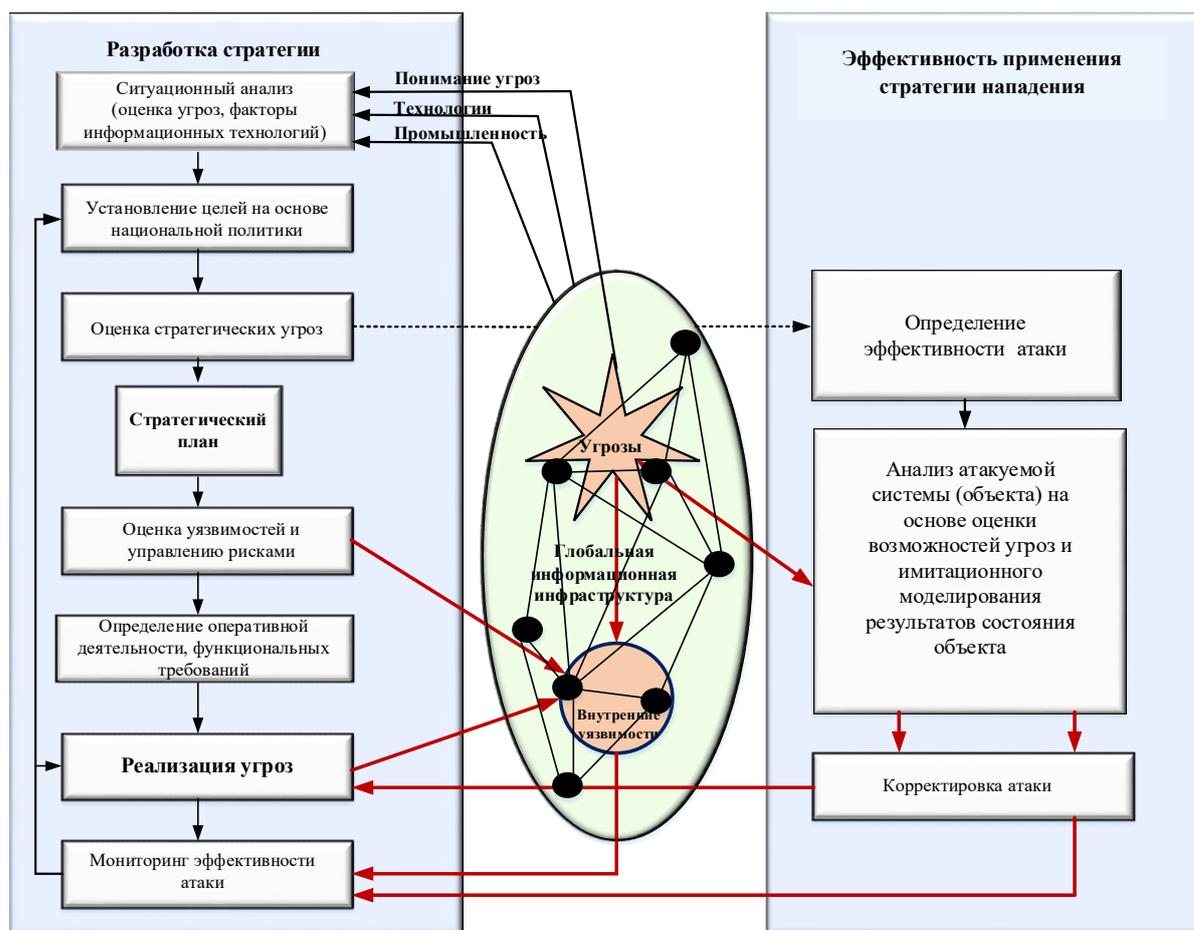


Рис. 1. Разработка стратегии реализации информационной специальной операции

Данный процесс включает как деятельность по разработке *стратегии*, так и дополнительный *процесс оценки*, который постоянно контролирует её эффективность.

Деятельность по разработке *стратегии* информационной войны состоит из нескольких этапов:

1) *ситуационный анализ* – проводится для оценки текущих и прогнозируемых угроз для объектов КИИ, а также технологических факторов, влияющих на их уязвимость и летальность угроз (рис. 2);

2) на основе политики ИВ устанавливаются *стратегические цели*, которые квалифицируют и количественно определяют достигаемые уровни воздействия и сроки их достижения;

3) *альтернативные подходы* к достижению целей, основанные на недостатках в системе безопасности и неопределенности в отношении угроз. Альтернативы взвешиваются, и конкретные элементы плана выбираются на основе эффективности, осуществимости, экономической выгоды и риска. Элементы плана объединяются в целостный стратегический план;

4) разработка подходов к *измерению и управлению рисками* для плана реализации *стратегии* с количественной оценкой рисков, вероятности их возникновения и последствий. Для каждой зоны риска разрабатываются планы по их снижению.

5) На протяжении всего периода реализации плана осуществляется мониторинг выполнения мероприятий по реализации, и достигнутый прогресс может быть использован для пересмотра элементов плана.



Рис. 2. Ситуационный анализ стратегии реализации информационной специальной операции

Операционная модель наступательной информационной специальной операции

Наступательные информационные специальные операции требуют определения цели с их последующей атакой, что должно выполняться на всех трех уровнях *операционной модели*. На самом высоком (*перцептивном*) уровне модели (рис. 3) требуется управление восприятием всех сторон в конфликте для достижения желаемой цели, что обеспечивается:

1) *выбором* целей-кандидатов для атаки, оценки её результатов, а также тактики и соответствующего оружия для достижения желаемых эффектов воздействия (уничтожение, функциональный или катастрофический отказ, отказ в обслуживании). Процесс предполагает учет эффективности и надежности применяемого оружия, точность доставки боеприпасов, критериев наносимого ущерба, вероятность поражения и направлен на уязвимости атакуемой системы;

2) *планирование* всех аспектов атаки, включая скоординированные действия, обманные маневры, маршруты (физические, информационной инфраструктуры или восприятия);

3) *оценка* боевого ущерба – измерение достигнутого эффекта от атаки для определения эффективности и планирования повторной атаки, если это необходимо.

Наступательные ИСО для достижения желаемого эффекта подразделяются на *прямые* и *косвенные атаки* (табл. 2):

– *прямые атаки* – направлены на психологическое восприятие ситуации, а также на нарушение целостности информационной системы.

– *косвенные атаки (технические)* – *программные*, направленные на циркулирующую на объекте информацию с целью её контроля, манипулирования или уничтожения и, *аппаратные* (физические атаки) направленные на «отказ в обслуживании» или физическое разрушение компонентов объектов информационной инфраструктуры.

Операционная (функциональная) модель, представленная на рис. 3 [7, 6, 10], выделяет три уровня (слоя) функций влияния на объект, подвергаемый деструктивному воздействию.

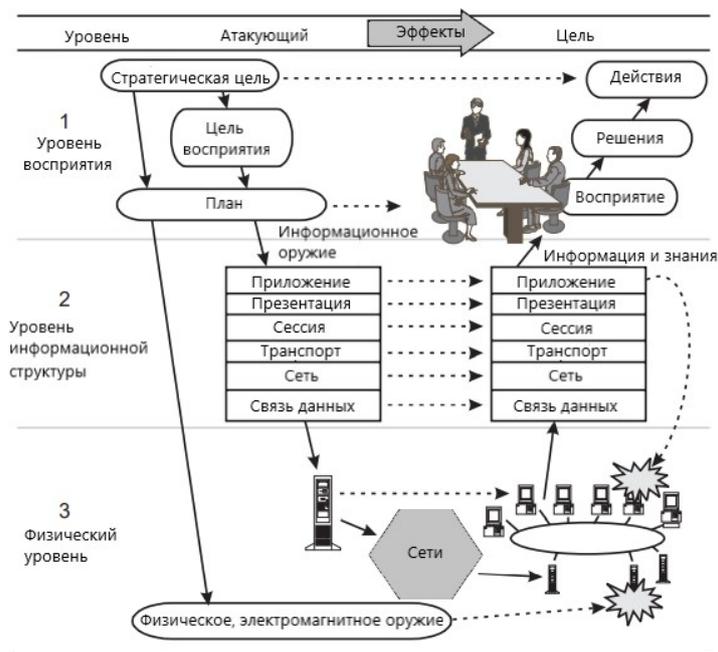


Рис. 3. Операционная (функциональная) модель информационных специальных операций

Таблица 2 – Уровни наступательной информационной специальной операции

Уровень атаки	Метод атаки	Реализация
Атака на восприятие	PSYOPS – радио, телевизионные или общественные передачи; пресс-релизы; физические сообщения (листочки)	Выполнение действий или отправка сообщений для получения выбранной информации и влияния на эмоции, мотивы и объективное мышление человека
	ОБМАН – обманные сайты, сообщения, электронная почта или действия в сети; физические сообщения (листочки)	Использование обманных операций и действий, направленных на сокрытие, искажение или фальсификацию информации
Оперативная атака	СИСТЕМНЫЕ АТАКИ – нарушение организационной структуры	Применяются методы для нарушения целостности информационной системы
	ПЕРСОНАЛЬНЫЕ АТАКИ – компрометация системных администраторов; снижение эффективности работы оперативного или вспомогательного персонала	Применяются методы, позволяющие персоналу нарушать целостность и эффективность персонального ключа
Техническая атака	ПРОГРАММНАЯ АТАКА – программный перехват – «сниффинг»; атаки типа «отказ в обслуживании»; патогены вредоносного программного обеспечения (вирусы, «черви»); взлом и/или уничтожение информации	Применяются вредоносное программное обеспечение с целью уничтожения данных, информации или знаний в области информационной инфраструктуры
	АППАРАТНАЯ АТАКА – физическое (кинетическое) разрушение или кража – направленная атака электромагнитной энергией на полупроводниковые или другие уязвимые к данному воздействию схемы или электромагнитный перехват информации; электромагнитные помехи (отказ в обслуживании); отказ в обслуживании источников питания.	Применяются электромагнитные, химические и биологические воздействия для уничтожения информационной системы и систем электропитания, кондиционирования воздуха.

Эта модель является расширением *базовой модели конфликта Джонсона* [3, 10], соответствующей когнитивной иерархической модели, с нисходящим влиянием на атакующей стороне и восходящим на целевой стороне, которая признаёт три концептуальные области деятельности информационных операций: в *физическом пространстве, киберпространстве и сознании людей*. Самой высокоуровневой целью наступательной ИСО является психологическое восприятие лицами, принимающими решения, политиками, военачальниками и даже целых групп населения, чтобы воздействовать на их решения и последующие действия на всех уровнях иерархии.

Первый уровень находится на *перцептивном* или *психологическом уровне*, который носит абстрактный характер и направлен на управление восприятием целевой аудитории. Абстрактные компоненты этого слоя включают цели, планы, восприятие, убеждения и решения [11, 12].

В качестве примера первого уровня модели можно привести работу украинского Центра информационно-психологических операций (ЦИПО), деятельность которого с 2004 года направлена на разжигание и распространение русофобии на Украине и Европы, дискредитации ВС РФ, демонизация и раскачка ситуации в России. Активность её деятельности была увеличена в разы после объявления 24 февраля 2022 г. Президентом Российской Федерации В.В. Путиным решения о проведении Специальной военной операции (СВО) по денацификации и демилитаризации Украины. Сильно возросло количество «фейков», выбрасываемых в сеть о действии ВС РФ в ходе СВО (например, описание событий в Буче), что должно было, в первую очередь, влиять на сознание и восприятие жителей Европы и США через все имеющиеся СМИ, и на «пятую колонну» в России, с целью организации митингов против проведения СВО.

Второй уровень – это уровень *информационной инфраструктуры*, который включает в себя абстрактную информационную инфраструктуру, которая принимает, обрабатывает, управляет и хранит информацию.

На рис. 3 представлена модель архитектуры *Open System Interconnection (OSI)* для информационных уровней, чтобы проиллюстрировать, как атаки могут происходить на подуровнях в пределах трех уровней модели верхнего уровня [11]. Именно этот уровень чаще всего рассматривается как «*киберпространство*», на котором происходят вредоносные атаки на программное обеспечение и эксплуатацию инфраструктуры (хакерство). Воздействия на этом уровне влияют на функциональное поведение системы, а составные элементы этого уровня включают данные, информацию, процессы и структуры знаний. В модели прикладной уровень передает информацию и знания людям, чтобы повлиять на их восприятие, а также контролирует объекты в физической области (например, компьютеры, коммуникации, промышленные процессы). Атаки на этот промежуточный уровень могут иметь специфические или каскадные эффекты как на перцептивном, так и на физическом уровнях.

Третий и самый нижний уровень – это уровень физической системы, который включает в себя компьютеры, физические сети, телекоммуникации и вспомогательные структурные компоненты (например, электропитание, помещения, контроль окружающей среды), которые реализуют информационную систему. Также на этом уровне находятся люди, управляющие системами, чье физическое влияние на системы имеет первостепенное значение. Воздействия на этом уровне носят технический характер, влияя на технические характеристики системы. Атаки, в том числе электромагнитные (организованные и многоуровневые, табл. 2), на этом уровне имеют физическую природу и направлены на *физический уровень* (на элементы защиты КИИ), вызывая технический эффект блокирования сигнала, функциональный эффект потери информации и пагубное оперативное воздействие на принятие решений из-за отсутствия разведанных.

Для понимания потенциальной угрозы применения мощного электромагнитного импульса (ЭМИ) наносекундной длительности в рамках аппаратной (электромагнитной атаки), выступающего в контексте ИСО, генераторы и источник такого импульса правомерно называть электромагнитным оружием (ЭМО), в условиях, когда все элементы критически важных сегментов информационной инфраструктуры (КВСИИ) государства подвергаются одновременной атаке, важно осознать, что уязвимость всех высоко взаимосвязанных критических инфраструктур может быть больше, чем сумма уязвимостей ее частей. Чрезвычайно динамичная и скоординированная деятельность указанных сегментов обеспечивается развитием технологий, и сбой в одной отдельной составляющей инфраструктуры не останется изолированным, а, наоборот, вызовет каскадные сбои в других элементах инфраструктуры. Не только взаимозависимость и новые уязвимости могут быть созданы технологическим прогрессом, но и технологии, которые способствовали этой растущей взаимозависимости, могут быть общими для многих отдельных инфраструктур.

В частности, рост и общее проникновение в КВСИИ автоматизированных системы мониторинга и управления (АСМУ), использующихся для сбора данных и контроля над крупными и географически распределенными инфраструктурными системами, нашли широкое применение в критически важных инфраструктурных приложениях, таких как генерирование, передача и распределение электроэнергии, водоснабжение, нефте- и газопроводы [3]. Отказ одного отдельного сегмента не остается изолированным, а вызывает отказы в других сегментах друг за другом, что приведет к чрезвычайным ситуациям или к значительным негативным последствиям для обороны, безопасности, экономики и других сфер жизнедеятельности государства на длительный период времени. В данном контексте вполне обосновано применить к генераторам ЭМИ, воздействующим на критические инфраструктуры, термин – электромагнитное оружие (ЭМО). В большинстве случаев, указанное деструктивное воздействие не оказывает влияние на человека, если оно не применялось целенаправленно, что также важно с учётом концепций проведения специальных и специальных военных операций, относительно недружественных стран.

Исходя из изложенного *основными целями* применения ЭМО в рамках преодоления защищенности объектов (разрушения защиты) КИИ и последующей деградации систем и объектов управления государственного и военного назначения являются [3]:

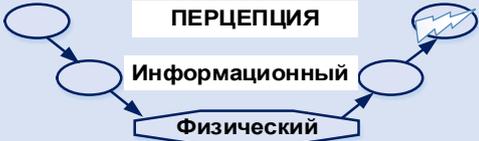
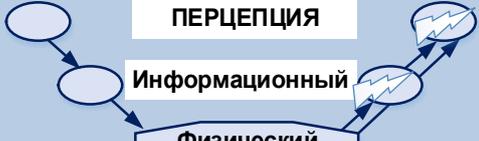
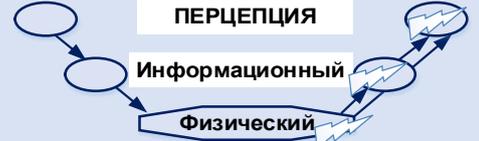
- нанесение ущерба отдельным физическим элементам КИИ (разрушение сетей электропитания, создание помех, использование специальных программ, стимулирующих вывод из строя аппаратных средств, а также биологических и химических средств разрушения элементарной базы);
- повреждение и/или уничтожение информационных, программных и технических ресурсов объекта воздействия, преодоление систем защиты;
- подавление и/или уничтожение линий связи, искусственная перегрузка узлов коммутации;
- целенаправленное воздействие на людей с целью ухудшения их здоровья;
- воздействие на компьютерное оборудование боевой техники и вооружений с целью вывода их из строя.

Концепция применения ЭМО в рамках поражения объектов КИИ является составной частью стратегии информационной (сетевой) войны (ИВ), которая ведется против данных объектов с помощью технических средств. Как и в любой другой форме конкуренции, конфликта или войны, существует политика, которая формирует основу их стратегии, управляющая тактическим применением технических методов ИВ, которые, в свою очередь, должны быть поняты в контексте их реализации [3, 8].

Атаки могут происходить непосредственно через перцептивный уровень и могут быть направлены на более низкие уровни с целью оказания влияния на процесс принятия решений.

Последовательность проведения атаки, в соответствии с моделью наступательной ИСО показана в табл. 3 [3, 10, 12]. В этих условиях на первый план выходят вопросы, связанные с обеспечением информационной безопасности, а точнее кибербезопасности, которая, по сути, представляет собой управление будущими рисками и реагирование на текущие и прошлые инциденты и атаки.

Таблица 3 – Последовательность проведения атаки в соответствии с моделью наступательной информационной операции

Характеристики	Нити атаки в НИО
<p>Все эффекты направлены на восприятие целевой аудитории (<i>PSYWAR</i>). Физический и информационный уровни лишь обеспечивают канал для управления восприятием. Эти слои используются, а не атакуются.</p>	
<p>Все воздействия направлены на восприятие целевой аудитории и включают атаки на информационную инфраструктуру для доступа при <i>PSYWAR</i>. Некоторые элементы информационной инфраструктуры эксплуатируются, другие атакуются, а третьи используются для передачи тем восприятия.</p>	
<p>Все три уровня инфраструктуры эксплуатируются, атакуются и используются для передачи тем восприятия. Целями являются военные и национальные лидеры (лица, принимающие решения).</p>	

Доктрина наступательной информационной специальной операции

Управление рисками, в свою очередь, требует знания того, что произошло и почему, наличия методов предотвращения подобных инцидентов в будущем, а также возможных юридических или иных мер по исправлению ситуации и понимания вероятности угрозы, текущих и будущих уязвимостей, способов их предотвращения или снижения, а также затрат, связанных с потенциальными последствиями.

Ключевым моментом является то, что данные подходы к управлению рисками имеют в основном схожие элементы, независимо от того, рассматриваете ли вы небольшую компанию, очень крупную корпорацию или государство. Чтобы узнать о вероятности определенной угрозы необходим постоянный поток информации, которую нужно научиться анализировать и оценивать в рамках возможных угроз и защиты своих информационных ресурсов.

Для понимания процесса управления рисками в контексте кибербезопасности предлагается рассмотреть фрактально-иерархическую модель взаимодействий рисками в КВСИИ в контексте кибербезопасности (рис. 4).

Эта модель предусматривает нисходящий поток воздействий как на государственный (национальный) уровень, так и на последующие уровни иерархии политического устройства государства, находящихся в постоянном взаимодействии между собой [13, 14].

Преимущество такого «фрактально-иерархического» подхода к кибербезопасности заключается в том, что он побуждает все заинтересованные стороны данного процесса действовать на основе общего видения проблем и необходимых ответных мер. Еще одним преимуществом такого подхода является развитие отношений сотрудничества между странами в области кибербезопасности, которые будут направлены на координацию ключевых функций и согласование процессов, необходимых каждому государству для выполнения ключевых функций с целью обеспечения эффективного взаимодействия различных национальных структур в указанной области.

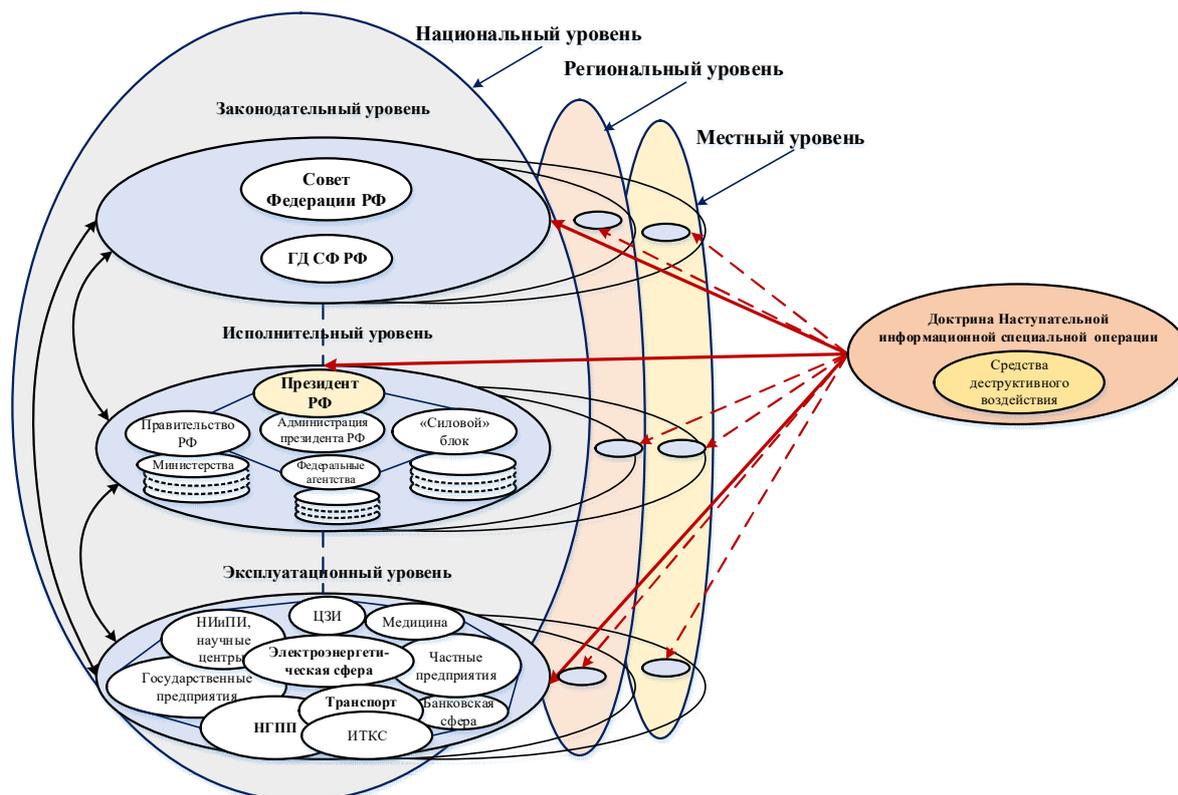


Рис. 4. Фрактально-иерархическая модель взаимодействий рисками в КВСИИ в контексте кибербезопасности

Выводы

На сегодняшний день кибербезопасность, как система мероприятий, направленных на обеспечение безопасного функционирования КИИ в условиях наступательной ИСО, является сложной областью государственной политики. Решение данной проблемы требует нового подхода, связанного с созданием групп, объединяющих специалистов (экспертов) с различной профессиональной деятельностью: ученых, *IT*-специалистов и экспертов в области защиты информации и информационной безопасности, экономистов, политологов, юристов, бизнесменов, экспертов по деловой политике или управлению, что должно привести к созданию сложной сети взаимодействия между государственными и частными структурами как в национальном, так и в международном контексте и обеспечить эффективность рассматриваемой политики.

Литература

1. Федеральный закон «О безопасности критической информационной инфраструктуры Российской Федерации» № 187-ФЗ от 24.05.2017 г.
2. Двилянский А.А. Методология оценки комплексной защищенности объектов инфокоммуникационных систем от воздействия деструктивных электромагнитных излучений: монография // Двилянский А.А., Иванов В.А. – Орёл: Академия ФСО России, 2018. – 235 с.
3. Libicki M. What is Information Warfare. – National Defense University. ACIS paper 3. – August 1995.
4. Уильям Грэм и др. Отчет Комиссии по оценке угрозы для США от атаки электромагнитного импульса, Том 1: Исполнительный отчет 2004, [<http://www.house.gov/hasc/openingstatementsandpressreleases/108thcongress/04-07-22emp.pdf>].
5. Сирак М. Комитет по Вооруженным силам Палаты представителей. Слушания по Комиссии по оценке угрозы для США от атаки электромагнитного импульса. Jane's Defence Weekly, 26 июля 2004 года.

6. Уилл Данэм. U.S. May Debut Secret Microwave Weapon versus Iraq. Reuters, Feb. 2, 2003, [<http://www.globalsecurity.org/org/news/2003/030202-ebomb01.htm>].
7. Распоряжение Правительства РФ от 25.08.2005 № 1314-р «Об одобрении Концепции федеральной системы мониторинга критически важных объектов и (или) потенциально опасных объектов инфраструктуры Российской Федерации и опасных грузов». Электронный ресурс // URL:<http://sudact.ru/law/rasporiazhenie-pravitelstva-rf-ot-27082005-n-1314-r/> Дата обращения 15.14.2016.
8. Слюсар В.С. Новое в несмертельных арсеналах. Нетрадиционные средства поражения // Электроника. Наука. Технология. Бизнес. 2002. № 4. С. 60–65.
9. Голиков В.А. Назначение, возможности и перспективы применения оружия нелетального действия в современных условиях: монография. – Москва: ОВА ВС РФ. 2004. – 391 с.
10. Джонсон Л.С. К функциональной модели информационной войны. Исследования в области разведки. 1997. Т. 1. № 1. Версия для неограниченного распространения, опубликованная на сайте www.odci.gov/csi/studies/97unclass/warfare.html 19 сентября 1997 года.
11. Стандарт модели взаимосвязи открытых систем для систем обработки информации. Эталонная модель OSI, ISO/IEC 7498-1: 1994 (E) и ITU-T Rec. X.200 (1994 E), Раздел 6, «Введение в конкретные уровни OSI».
12. Brian Bergstein, Military Mulls Use of "Star Trek" Weapons, LiveScience, July 13, 2005, [http://www.livescience.com/technology/ap_050713_phasers.html]. Vehicle- Mounted Active Denial System (V-MADS), GlobalSecurity.org, [<http://www.globalsecurity.org/military/systems/ground/v-mads.htm>].
13. Комитет Сената по судебной системе, подкомитет по терроризму, технологиям и национальной безопасности. 8 марта 2005 года. Jane's Information Group, Shahab breaks breakss suggest possible EMP trial, May 1, 2005, Jane's.
14. Experts Cite Electromagnetic Pulse as Terrorist Threat // Associated Press Las Vegas Review-Journal, Oct. 3, 2001.

References

1. *Federal'nyj zakon «O bezopasnosti kriticheskoy informacionnoj infrastruktury Rossijskoj Federacii»* [The Federal law «About safety of a critical information infrastructure The Russian Federation»] № 187-FZ from 5/24/2017 (in Russian).
2. Dviljansky A.A. *Metodologiya ocenki kompleksnoj zashchishchennosti ob"ektov infokommunikacionnyh sistem ot vozdeystviya destruktivnyh elektromagnitnyh izluchenij* [Metodologija of an assessment of complex security of objects инфокommunikационных систем from influence of the destructive electromagnetic radiations]. The monography. Dviljansky A.A., Ivanov V.A. Orel: Academy FSO of Russia, 2018. - 235 with (in Russian).
3. Libicki, M. What is Information Warfare. - National Defense University. ACIS paper 3. - August 1995.
4. William Grem, etc. *Otchet Komissii po ocenke ugrozy dlya SSHA ot ataki elektromagnitnogo impul'sa* [The Report of the Commission according to threat for the USA from attack of an electromagnetic impulse]. Volume 1: the Executive report 2004, [<http://www.house.gov/hasc/openingstatementsandpressreleases/108thcongress/04-07-22>] emp.pdf (in Russian).
5. Sirak M. *Komitet po Vooruzhennym silam Palaty predstavitelej. Slushaniya po Komissii po ocenke ugrozy dlya SSHA ot ataki elektromagnitnogo impul'sa* [Komitet on Armed forces of the House of Representatives. Hearings on the Commission according to threat for the USA from attack of an electromagnetic impulse]. Jane's Defence Weekly, on July, 26th, 2004 (in Russian).
6. Will Danem. U.S. May Debut Secret Microwave Weapon versus Iraq. Reuters, Feb. 2, 2003, [<http://www.globalsecurity.org/org/news/2003/030202-ebomb01.htm>] (in Russian).
7. *Rasporyazhenie Pravitel'stva RF ot 25.08.2005 № 1314-r «Ob odobrenii Konceptii federal'noj sistemy monitoringa kriticheskij vazhnyh ob"ektov i (ili) potencial'no opasnyh ob"ektov infrastruktury Rossijskoj Federacii i opasnyh грузов»* [The Order of the Government of the Russian Federation from 8/25/2005 № 1314-r «About approval of the Concept of federal system of monitoring of crucial objects and (or) potentially dangerous objects of an infrastructure of the Russian Federation and dangerous loads»]. The Electronic resource. URL:<http://sudact.ru/law/rasporiazhenie-pravitelstva-rf-ot-27082005-n-1314-r/> Date of reversion of 15.14.2016 (in Russian).

8. Sljusar V.S. *Novoe v nesmertel'nyh arsenalah. Netradicionnye sredstva porazheniya* [Novoe in nonlethal arsenals. Nonconventional means of a lesion]. Electronics. A science. Technology. Business, 2002, № 4. - With. 60-65 (in Russian).
9. Golikov V.A. *Naznachenie, vozmozhnosti i perspektivy primeneniya oruzhiya neletal'nogo dejstviya v sovremennyh usloviyah* [Naznachenie, possibilities and prospects of a use of weapons of not lethal action in modern conditions]. The monography. Moscow: OVA BC the Russian Federation. 2004. - 391 with (in Russian).
10. Johnson L. *K funkcional'noj modeli informacionnoj vojny. Issledovaniya v oblasti razvedki* [To functional model of information war. Researches in the field of investigation]. Volume 01, № 1, 1997. The version for the unlimited diffusion, published on a site www.odci.gov/csi/studies/97unclass/warfare.html <<http://www.odci.gov/csi/studies/97unclass/warfare.html>> 19 September, 1997 (in Russian).
11. *Standart modeli vzaimosvyazi otkrytyh sistem dlya sistem obrabotki informacii* [The Standard of model of interrelation of open circuits for information processing systems]. Reference model OSI, ISO/IEC 7498-1: 1994 (E) and ITU-T Rec. X.200 (1994 E), Partition 6, «Introduction in concrete levels OSI» (in Russian).
12. Brian Bergstein, Military Mulls Use of "Star Trek" Weapons, LiveScience, July 13, 2005, [http://www.livescience.com/technology/ap_050713_phasers.html]. VEHICLE - Mounted Active Denial System (V-MADS), GlobalSecurity.org, [<http://www.globalsecurity.org/military/systems/ground/v-mads.htm>].
13. *Komitet Senata po sudebnoj sisteme, podkomitet po terrorizmu, tekhnologiyam i nacional'noj bezopasnosti* [Committee of the Senate on judicial system, subcommittee on terrorism, technologies and national safety]. March, 8th, 2005. Jane's Information Group, Shahab breaks breakss suggest possible EMP trial, May 1, 2005, Jane's (in Russian).
14. Experts Cite Electromagnetic Pulse as Terrorist Threat. Associated Press Las Vegas Review-Journal, Oct. 3, 2001.

Статья поступила 23 августа 2022 г.

Информация об авторах

Иванов Владимир Алексеевич – Доктор военных наук, профессор, член-корреспондент ФГКНУ «Академия Криптографии Российской Федерации». Главный специалист научно-организационного отдела ФГУП «Научно-технический центр «ОРИОН». Область научных интересов: информационная безопасность; защита информации; криптографические и стеганографические методы защиты информации; устойчивость сетей связи специального назначения. Тел: +7-926-474-78-12. E-mail: iva.mac@mail.ru. Адрес: 127018, г. Москва, ул. Образцова, д. 38, стр. 1.

Двилянский Алексей Аркадьевич – Кандидат технических наук, доцент. Сотрудник ФГКВОУ ВО «Академия Федеральной службы охраны Российской Федерации». Область научных интересов: информационная безопасность; защита информации; электромагнитная безопасность и устойчивость объектов КИИ. Тел: +7-910-301-17-07. E-mail: advil@mail.ru. Адрес: 302015 г. Орёл, ул. Приборостроительная, д. 35.

Иванов Иван Владимирович – Доктор технических наук. Директор АО «Психодинамика». Область научных интересов: информационная безопасность и устойчивость сетей связи специального назначения. Тел: +7-926-370-09-90. E-mail: iva.mac@mail.ru. Адрес: 127018, г. Москва, ул. Образцова, д. 38, стр. 1.

Гондаренко Евгений Анатольевич – Соискатель ученой степени кандидата технических наук. Соискатель ученой степени кандидата технических наук. Область научных интересов: устойчивость сетей связи специального назначения. Тел: +7(965)070-77-18. E-mail: evgeny40120@yandex.ru. Адрес: 197342, г. Санкт-Петербург, ул. Кантемировская, д. 8.

The role and place of electromagnetic weapons in the implementation of the offensive strategy in the information special operation

V.A. Ivanov, A.A. Dviljanskij, I.V. Ivanov, E.A. Gondarenko

Annotation: Article purpose is statement of the problem opening degree of threats, based on taken over by the opponent («the collective West») concepts of carrying out and realisation of offensive strategy by means of carrying out information special operations, including by means of the destructive electromagnetic influences, as element of the information war directed against crucial segments of an information infrastructure of the state which the computerized systems of monitoring, control and control by the large and geographically distributed infrastructural systems of the states, being the influence and aggression purpose concern. The result consists in ordering of concept of offensive strategy in information special operation. The practical importance is concluded in possibility of application of the positions presented in article for drawing up of model of threats to objects of critical information threat at various stages of construction of systems and complexes of protection within the limits of information security of critical objects.

Keywords: a critical information infrastructure, offensive strategy, information special operations, the electromagnetic weapon, the computerised systems of monitoring, control and control.

Information about the authors

Vladimir Alekseevich Ivanov – Doctor of military sciences, the professor, corresponding member «Academy of Cryptography of the Russian Federation», the chief specialist of scientifically-organizational department FGUP «Scientific and technical centre" Orion ". Area of scientific interests: information security; information protection; cryptographic and стеганографические methods of protection of the information; stability of communication networks of a special purpose. Tel.: +7-926-474-78-12. E-mail: iva.mac@mail.ru. Address: 127018, Moscow, street Is exemplary, h. 38, constitution 1.

Alexey Arkadevich Dviljansky – Cand.Tech.Sci., the senior lecturer. Employee FSSEIHVT «Academy of Federal Agency of preservation of the Russian Federation». Area of scientific interests: information security; information protection; electromagnetic safety and stability of objects СИ. Tel.: +7-910-301-17-07. E-mail: advil@mail.ru. Address: 302015, Orel, street Priborostroitel'naya, h. 35.

Ivan Vladimirovich Ivanov – Dr.Sci.Tech., the director of joint-stock company "Psychodynamics". Area of scientific interests: information security and stability of communication networks of a special purpose. Tel.: +7-926-370-09-90. E-mail: iva.mac@mail.ru. Address: 127018, Moscow, street Is exemplary, h. 38, constitution 1.

Evgenie Anatolevich Gondarenko – Competitor of a scientific degree of Cand. Tech.Sci. Post-graduate student of PJSC Inteltech. Area of scientific interests: Stability of communication networks of a special purpose. Tel.: + 7-965-070-77-18. E-mail: evgeny40120@yandex.ru. Address: Russia, 197342, Saint-Petersburg, Kantemirovskaya street 8.

Для цитирования: Иванов В.А., Двилянский А.А., Иванов И.В., Гондаренко Е.А. Роль и место электромагнитного оружия при реализации наступательной стратегии в информационной специальной операции // Техника средств связи. 2022. № 3 (159). С. 62-73. DOI 10.24412/2782-2141-2022-3-62-73.

For citation: Ivanov V.A., Dviljanskij A.A., Ivanov I.V., Gondarenko E.A. The role and place of electromagnetic weapons in the implementation of the offensive strategy in the information special operation. Means of Communication Equipment. 2022. No. 3 (159). Pp. 62-73. DOI 10.24412/2782-2141-2022-3-62-73 (in Russian).

УДК 621.396.6

DOI: 10.24412/2782-2141-2022-3-74-79

Помехозащищенность от электромагнитных помех с помощью экранирования и сетевых фильтров

Хотченков А.С.

Аннотация. В статье изложены пути повышения помехозащищённости от электромагнитных (кондуктивных) помех, излучаемые самой радиоэлектронной аппаратурой при помощи сетевого фильтра и экранированного кабеля питания. Приведено описание причины возникновения помех и устранения их. Проведено испытание на эффективность сетевого фильтра при устранении помех в аппаратуре. Цель статьи – показать с помощью экспериментальных испытаний повышение помехозащищённости от электромагнитных (кондуктивных) помех в радиоэлектронной аппаратуре при помощи сетевого фильтра и экранированного кабеля питания. Проведено изучение современных методов построения сетевых фильтров, детальное изучение техники защиты от импульсных выбросов в сети и фильтрации помех во входных цепях модулей и блоков электропитания аналоговой и цифровой аппаратуры.

Ключевые слова: помехозащищенность, электромагнитные помехи, радиоэлектронная аппаратура, сетевой фильтр, фильтрация, электрические импульсные помехи.

Введение

Надежность и достоверность работы радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) и систем зависят от их помехозащищенности по отношению к внешним и внутренним, случайным и регулярным помехам, эта проблема является актуальной, так как электрические импульсные помехи создают значительную угрозу для РЭА и ее данных. Последствия воздействия этих нарушений остаются одними и теми же: перебои, ухудшение свойств и повреждение аппаратуры, неизбежно приводящие к ее поломке. Поэтому, чтобы избежать такие неисправности, должны применяться сетевые фильтры в современной РЭА, которые позволяют исключить её поломку и улучшить многие её показатели, что приводит к повышению коэффициента полезного действия (КПД) работы РЭА. На рис. 1 представлена классификация помех в РЭА.

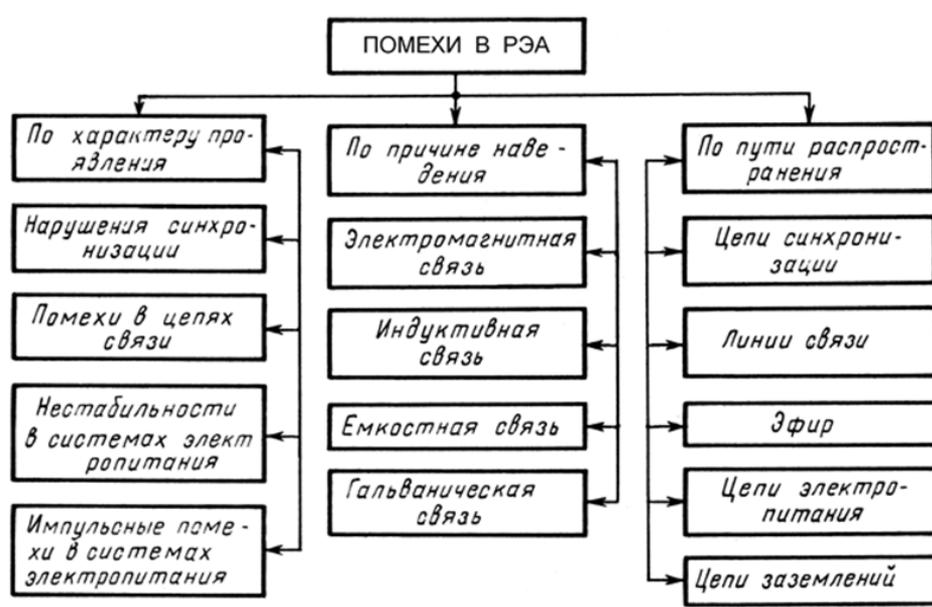


Рис. 1. Классификация помех в РЭА

Сетевые фильтры необходимы для достаточно дорогостоящих устройств, постоянно включенных в электрическую сеть, особенно это касается военной аппаратуры, которая чувствительна к перенапряжениям в сети и помехам.

Сетевой фильтр в радиоэлектронной аппаратуре

В качестве сетевого фильтра был выбран *LC*-фильтр отечественного производства «Александр Электрик», который является четырехполюсником, устанавливаемым между источником питания и нагрузкой и служащим для беспрепятственного (с малым затуханием) пропускания токов одних частот и задержки (или пропускания с большим затуханием) токов других частот, являющимся одним из самых популярных фильтров в электронике.

На рис. 2 представлен одноэлементный *LC*-фильтр (для фильтрации используется конденсатор). Для ВЧ-динамика последовательно с динамиком соединяется конденсатор, который будет пропускать через себя ВЧ-сигнал почти без потерь, а низкие частоты будет глушить.



Рис. 2. Фильтр MPM2-B5ДМУ

LC-фильтр предназначен для подавления высокочастотных помех (с частотой 100 Гц – 100 МГц), которые искажают синусоиду переменного напряжения в сети и отрицательно сказываются на работе электрооборудования. Эффективность работы *LC*-фильтра в различных диапазонах частот измеряется в дБ. На рис. 3 представлена схема подключения модуля фильтра, *A1* – модуль фильтра, *SA4* – тумблер, *X1* – вилка, *XT2* – плата соединительная.

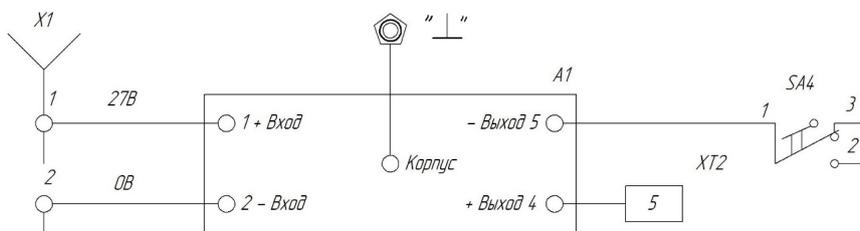


Рис. 3. Вариант схемы подключения модуля фильтра MPM2-B5ДМУ в блоке динамиков

LC-фильтр предназначен для подавления высокочастотных помех (с частотой 100 Гц – 100 МГц), которые искажают синусоиду переменного напряжения в сети и отрицательно сказываются на работе электрооборудования. Эффективность работы *LC*-фильтра в различных диапазонах частот измеряется в дБ.

Подключение модуля к первичной сети, а также подключение нагрузки осуществляется пайкой выводов в соответствии с рис. 4.

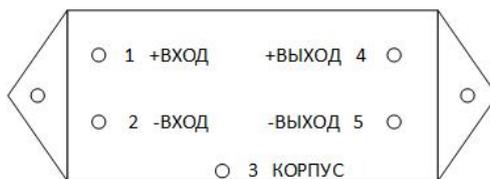


Рис. 4. Схема обозначение выводов модуля, вид со стороны выводов

Анализ результатов экспериментальных испытаний на помехозащищенность

Испытания выполняются с целью комплексной проверки обеспечения технологическими процессами производства аппаратуры с требуемыми показателями их помехоустойчивости, предусмотренными в проектной документации на эту аппаратуру. В результате испытаний должны определяться фактические значения помех.

Для экспериментальных испытаний была выбрана РЭА, а именно блок динамиков производства ПАО «Интелтех», представленный на рис. 5.

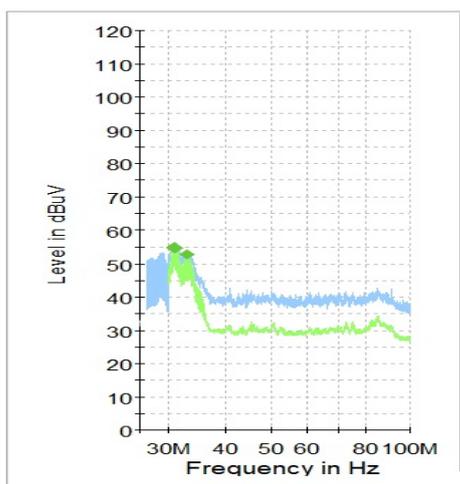
Принцип проведения испытания на помехоустойчивость заключается в подаче напряжения 27 В на блок динамиков и анализ его помех, при этом необходимо задавать разные условия при проведении испытаний.



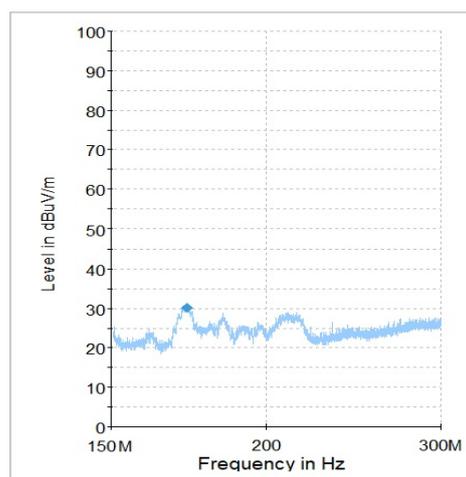
Рис. 5. Блок динамиков ВМИР 469435.112

Было проведено испытание на устранение электромагнитных (кондуктивных) помех, создаваемых в блоке динамиков. С помощью экспериментальных испытаний были получены графики помех блока динамиков.

Сначала проводился этап №1, блок динамиков подключался не экранированным кабелем питания и без сетевого фильтра. Результаты этапа №1 показаны на рис. 6: а) график помех в диапазоне от 30 МГц до 100 МГц, где наблюдается пиковая помеха, равная 53-55 дБ/мкВ; б) график помех в диапазоне от 150 МГц до 300 МГц, где наблюдается пиковая помеха, равная 30 дБ/мкВ.



а)



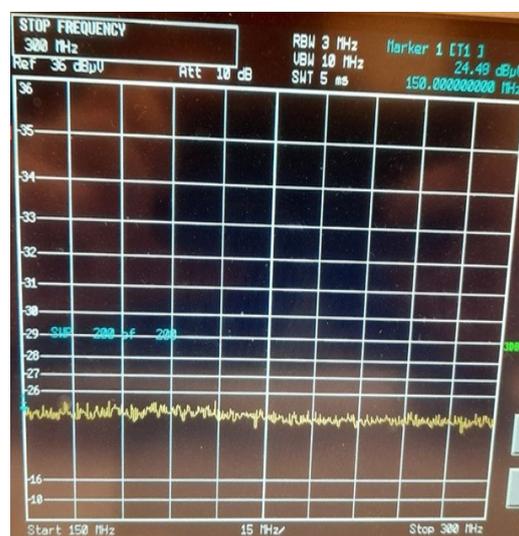
б)

Рис. 6. График помех при использовании кабеля без экранирования и без фильтра:
а) график в диапазоне от 30 МГц до 100 МГц, б) график в диапазоне от 150 МГц до 300 МГц

На следующем этапе №2 блок динамиков подключался экранированным кабелем питания и без сетевого фильтра. Результаты этапа №2 показаны на рис. 7: а) график помех в диапазоне от 30 МГц до 50 МГц, где наблюдается пиковая помеха, равная 44 дБ/мкВ; б) график помех в диапазоне от 150 МГц до 300 МГц, где наблюдается пиковая помеха, равная 25 дБ/мкВ.



а)



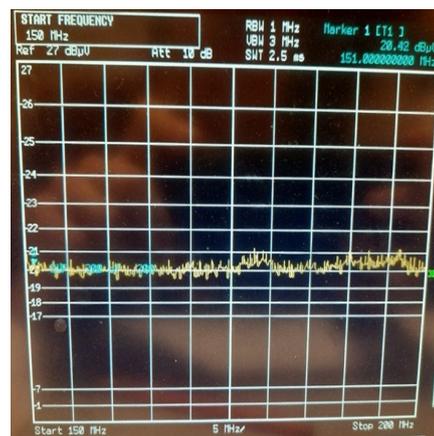
б)

Рис. 7. График помех при использовании кабеля с экранированием и без фильтра:
а) график в диапазоне от 30 МГц до 100 МГц, б) график в диапазоне от 150 МГц до 300 МГц

Завершающим этапом является этап №3, на котором блок динамиков подключался экранированным кабелем питания, также был подключен сетевой фильтр. Результаты этапа №3 показаны на рис. 8: а) график помех в диапазоне от 30 МГц до 50 МГц, где наблюдается пиковая помеха, равная 42 дБ/мкВ; б) график помех в диапазоне от 150 МГц до 200 МГц, где наблюдается пиковая помеха, равная 21 дБ/мкВ.



а)



б)

Рис. 8. График помех при использовании кабеля с экранированием и с фильтром:
а) график в диапазоне от 30 МГц до 100 МГц, б) график в диапазоне от 150 МГц до 200 МГц

Вывод

Массовое проникновение радиоэлектронной аппаратуры происходит в самые различные сферы общества, а особенно, в управление критичными системами в военной отрасли. Эта зависимость особенно опасна из-за уязвимости аппаратуры к воздействию электромагнитных (когнитивных) помех, поскольку их уровни непрерывно возрастают (с ростом плотности размещения, компоновки и трассировки, а также частот воздействия), а уровни восприимчивости компонентов РЭА снижаются (с уменьшением запаса помехозащищенности из-за снижения напряжения питания интегральных схем). Всё чаще выявляются ситуации, когда из-за этой зависимости удовлетворительное функционирование РЭА невозможно, что для критичных систем совершенно недопустимо, поскольку связано с риском больших материальных потерь.

Поэтому при разработке РЭА проблема помехозащищенности является актуальной, в статье эта задача рассмотрена с указанием путей её решения. Были проведены экспериментальное испытание на устранение электромагнитных (кондуктивных) помех, создаваемых в блоке динамиков. С помощью экспериментальных испытаний были получены графики помех блока динамиков, которые были проанализированы, и на основании этого анализа был определен наилучший вариант решения проблемы помехозащищенности блока динамиков. Исходя из этого анализа, блок динамиков будет излучать наименьшие электромагнитные (кондуктивные) помехи, если использовать его с сетевым фильтром и с экранированным кабелем совместно.

В таблице 1 представлены основные результаты, полученные в ходе проведения испытаний.

Таблица 1 – Полученные результаты испытаний

Условия испытаний	Диапазон частот	Пиковая помеха
Не экранированный кабель	от 30 МГц до 100 МГц от 150 МГц до 300 МГц	53-55 дБ/мкВ 30 дБ/мкВ
Экранированный кабель	от 30 МГц до 50 МГц от 150 МГц до 300 МГц	44 дБ/мкВ 25 дБ/мкВ
Экранированный кабель с сетевым фильтром	от 30 МГц до 50 МГц от 150 МГц до 200 МГц	42 дБ/мкВ 21 дБ/мкВ

Литература

1. Алексеев О.В., Китаев В.Е., Шихин А.Я. Электрические устройства / Под ред. А.Я. Шихина: Учебник. – М.: Энергоиздат, 2009. – 336 с.
2. Газизов Т.Р. Уменьшение искажений электрических сигналов в межсоединениях и влияний преднамеренных силовых электромагнитных воздействий. – Томск, 2010. – 357 с.
3. Князев А.Д., Кечиев Л.Н., Петров Б.В. Конструирование радиоэлектронной и электронно-вычислительной аппаратуры с учетом электромагнитной совместимости. – М.: Радио и связь, 1989. – 224 с.
4. Лебедев Ю.М., Коновалов Б.И. Теория автоматического управления: Учебное пособие. Томск: ТУСУР. 2003. 227 с.

References

1. Alekseev O.V., Kitaev V.E., Shikhin A.Ya. Electrical devices. Edited by A.Ya. Shikhin: Textbook. Moscow. Energoizdat, 2009. 336 p.

2. Gazizov T.R. Reduction of distortion of electrical signals in interconnections and the effects of intentional electromagnetic force effects. Tomsk, 2010. 357 p.

3. Knyazev A.D. Design of radio-electronic and electronic computing equipment taking into account electromagnetic compatibility. A.D. Knyazev, L.N. Kechiev, B.V. Petrov. Moscow. Radio and Communications, 1989. 224 p.

4. Lebedev Yu.M., Konovalov B.I. Theory of automatic control: Textbook. Tomsk: TUSUR. 2003. 227 p.

Статья поступила 5 сентября 2022 г.

Информация об авторе

Хотченков Антон Сергеевич – Инженер ПАО «Интелтех». Тел.: 8-911-174-52-53.

E-mail: anto-h@bk.ru. Адрес: 197342, Россия, Санкт-Петербург, Кантемировская, 8.

Noise immunity from electromagnetic interference by means of shielding and network filters

A.S. Khotchenkov

***Annotation.** This paper describes ways to increase the noise immunity from conductive interference emitted by the radio electronic equipment itself using a network filter. A description of the nature of interference and their elimination is given. A test was carried out on the effectiveness of the network filter in eliminating interference in the equipment. The purpose of the article is to show with the help of experimental tests an increase in noise immunity from electromagnetic (conductive) interference in radio-electronic equipment using a mains filter and a shielded power cable. The study of modern methods of constructing network filters, a detailed study of the technique of protection against pulse emissions in the network and filtering interference in the input circuits of modules and power supply units of analog and digital equipment.*

***Keywords:** Noise immunity, electromagnetic interference, electronic equipment, mains filter, filtration, electrical pulse interference.*

Information about Authors

Anton Sergeevich Khotchenkov – Engineer of PJSC «Inteltech». Tel: 8-911-174-52-53. E-mail: anto-h@bk.ru. Address: 197342, Russia, St. Petersburg, st. Kantemirovskaya, 8.

Для цитирования: Хотченков А.С. Помехозащищенность от электромагнитных помех с помощью экранирования и сетевых фильтров // Техника средств связи. 2022. № 3 (159). С. 74-79. DOI: 10.24412/2782-2141-2022-3-74-79.

For citation: Khotchenkov A.S. Noise immunity from electromagnetic interference by means of shielding and network filters. Means of Communication Equipment. 2022. No. 3 (159). Pp. 74-79. DOI: 10.24412/2782-2141-2022-3-74-79 (in Russian).

ПЕРЕДАЧА, ПРИЕМ И ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ

УДК 621.396.93

DOI: 10.24412/2782-2141-2022-3-80-89

**Формирование спектрально-эффективного OFDM сигнала
в базисе дискретных вейвлет-функций**

Щукин А.Н., Солозобов С.А.

Аннотация. Цель статьи – показать, как с использованием дискретного вейвлет-преобразования можно формировать спектрально-эффективные Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) сигналы. Приведены временные, спектральные и энергетические характеристики OFDM сигналов, полученные в результате имитационного моделирования процесса их формирования, на основе дискретного вейвлет-преобразования. В настоящее время OFDM реализуется с использованием быстрого преобразования Фурье (Fast Fourier Transform-FFT). В научной литературе этот метод обозначается как FFT-OFDM, который является одним из основных методов формирования сигнала, использующийся для проектирования систем передачи данных. FFT-OFDM имеет существенные недостатки, такие как снижение эффективности использования выделенной полосы частот, обусловленного использованием защитного временного интервала (циклического префикса) для снижения межсимвольной интерференции как между OFDM символами, так и между символами на поднесущих, а также относительно высокий его пик-фактор. С развитием теории вейвлет-анализа, дискретное вейвлет-преобразование стало использоваться для формирования сигналов OFDM. В научной литературе этот метод обозначается как (Discrete Wavelet Transform-DWT) DWT-OFDM. В настоящее время формирование сигнала OFDM методом DWT-OFDM становится альтернативой обычному методу FFT-OFDM. Представлены результаты в виде графиков, полученных в результате моделирования OFDM сигналов. Выполнен анализ полученных результатов. Результаты работы могут быть реализованы при создании комплексов радиосвязи.

Ключевые слова: Orthogonal Frequency Division Multiplexing сигналы, спектральная плотность мощности, символ, созвездие, интерполяция, пик-фактор.

Введение

Существует постоянно растущая потребность в системах связи, способных обеспечивать высокие скорости передачи данных. Схемы модуляции, характеризующиеся высокой скоростью передачи данных, в свою очередь, могут подвергаться межсимвольной интерференции, что обычно вызвано многолучевым распространением радиоволн в канале радиосвязи. Для уменьшения влияния многолучевого распространения радиоволн требуются высокопроизводительные эквалайзеры для выравнивания амплитудно-частотной характеристики радиоканала. Решение этой проблемы предполагает использование модуляции с несколькими несущими, которая разделяет последовательные потоки с высокой скоростью передачи данных на ряд параллельных потоков с более низкой скоростью передачи данных [1].

В настоящее время метод мультиплексирования с ортогональным частотным разделением-FFT-OFDM является одним из основных методов формирования сигнала, который используется для проектирования систем передачи данных по каналам радиосвязи. FFT-OFDM используется в большом количестве действующих стандартов связи, таких как IEEE 802.11 (набор стандартов беспроводной связи), LTE (стандарт беспроводной связи 4 поколения), IEEE 802.16 и IEEE 802.20 (беспроводные системы связи) и другие.

Эти системы передачи, для борьбы с многолучевостью, требуют наличия вставки циклического префикса между символами FFT-OFDM, который приводит к снижению,

до 25 % пропускной способности канала передачи данных [2, 3]. Кроме того, сигналы *FFT-OFDM* характеризуются высоким отношением пиковой мощности к средней (пик-фактор), что заставляет усилители мощности передатчиков работать в линейном режиме, характеризующимся низким его коэффициентом полезного действия.

Вейвлет-преобразование – это метод исследования сигнала как во временной, так и в частотной областях. Следовательно, вейвлет-преобразование предоставляет информацию одновременно во временной и частотной областях.

Вейвлеты имеют лучшую по сравнению с синусоидами ортогональность, поэтому на их стабильность, в меньшей степени, влияет многолучевое распространение радиоволн. Наложение символов *DWT-OFDM* во временной области, из-за многолучевого распространения радиоволн, оказывает меньшее влияние на соотношение фазовых составляющих его спектра. Поэтому *DWT-OFDM* не требует вставки циклического префикса. Следовательно, *DWT-OFDM* приводит к повышению эффективности использования ширины полосы пропускания, выделенной для связи.

Эффективность использования ширины полосы частот канала радиосвязи, устойчивость к межсимвольным помехам и помехам между поднесущими обеспечивается без использования циклического префикса, что является существенным преимуществом *OFDM* на основе дискретных вейвлетов.

В различных условиях функционирования канала радиосвязи доплеровский сдвиг влияет на ортогональность поднесущих *FFT-OFDM*, но *DWT-OFDM*, сформированный на основе вейвлетов, в меньшей степени, зависит от доплеровского сдвига.

Сложность формирования сигнала *DWT-OFDM* намного меньше, чем сигнала *FFT-OFDM*. Следовательно, достаточно легко реализовать модулятор и демодулятор *DWT-OFDM* на существующей элементной базе.

DWT-OFDM на основе вейвлет-преобразования является альтернативой *FFT-OFDM* из-за того, что эти сигналы могут обеспечить все те же преимущества, что и *FFT-OFDM*, но с дополнительными возможностями, такими как, повышение эффективности использования полосы частот, снижение пик-фактора сигнала и устойчивость к изменению частоты сигнала во времени [4].

Дискретное вейвлет-преобразование

Прямое и обратное вейвлет-преобразование реализуется с помощью вейвлет-фильтров [5], имеющих разный масштаб, то есть полосу пропускания. Входной сигнал проходит через фильтры верхних и нижних частот. Вейвлет-фильтры делят исходный сигнал на две части, а именно на низкочастотную и высокочастотную составляющие.

Выходной сигнал фильтра нижних частот известен как коэффициент аппроксимации, определяемый низкочастотными составляющими входного сигнала.

Выходной сигнал фильтра верхних частот дает нам коэффициент детализации, определяемый высокочастотными составляющими, присутствующими во входном сигнале.

При формировании *OFDM* сигнала на передающей стороне выполняется обратное дискретное вейвлет-преобразование. Количество вейвлет-коэффициентов, значениями которых являются коэффициенты аппроксимации и детализации на выходе модуля *IDWT* (*Inverse Discrete Wavelet Transform*) увеличивается в 2 раза. Увеличение количества вейвлет-коэффициентов на передающей стороне означает, что помимо символов модуляции в альтернативные позиции производится вставка нулей. После обратного вейвлет-преобразования коэффициенты аппроксимации пропускаются через фильтры нижних частот, а коэффициент детализации пропускается через фильтры верхних частот.

Полученные коэффициенты суммируются, в соответствии с параметрами вейвлет-функции (масштаб и сдвиг на временной оси), в результате чего формируется *DWT-OFDM* сигнал.

Выходной сигнал модуля *IDWT-OFDM* при обратном вейвлет-преобразовании определяется выражением:

$$S(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \sum_{k=-\infty}^{\infty} S(n, k) 2^{\frac{\pi}{2}} \psi(2^n t - k), \quad (1)$$

где: n – определяет масштаб вейвлет-функции;
 k – сдвиг вейвлет-функции вдоль оси времени с масштабом n ;
 $S(n, k) = I(t) + j Q(t)$ – символы на выходе *QAM* модулятора (амплитуду и фазу);
 $\psi(\dots)$ – дискретная вейвлет-функция.

Сформированный *OFDM* сигнал на выходе квадратурного преобразователя частоты определяется выражением:

$$S_{\omega_{\text{пр}}}(t) = S(t) \exp(j\omega_{\text{пр}} t), \quad (2)$$

где: $\omega_{\text{пр}}$ – промежуточная частота, на которую переносится *OFDM* сигнал.

На приемной стороне сигнал $S_{\omega_{\text{пр}}}(t)$ переносится на нулевую частоту квадратурным преобразователем частоты и поступает на вход модуля прямого вейвлет-преобразования *DWT*. Выходные данные фильтров нижних и верхних частот прореживаются для уменьшения количества вейвлет-коэффициентов.

Смысл понижающей выборки состоит в том, чтобы удалить альтернативные выборки из входного сигнала. Это делается потому, что после прохождения через вейвлет-фильтр каждая полоса частот состоит только из половины числа вейвлет-коэффициентов, присутствующих в исходном сигнале.

После суммирования всех коэффициентов на выходе модуля прямого вейвлет-преобразования появляется набор символов модуляции сигнала. Выходной сигнал модуля *DWT* определяется выражением:

$$S(n, k) = \sum_t S(t) 2^{\frac{\pi}{2}} \psi(2^n t - k), \quad (3)$$

где: $S(t) = I(t) + j Q(t)$ – *OFDM*-сигнал.

На рис. 1 представлена структурная схема устройства формирования *DWT-OFDM*.

Блоки *S/P* и *IDWT* преобразуют последовательный поток символов, поступающих с *QAM* модулятора в параллельный поток, определяемый количеством поднесущих в *OFDM* сигнале, осуществляют обратное дискретное вейвлет-преобразование и формируют *OFDM* сигнал. Интерполятор (И) и цифроаналоговый преобразователь (ЦАП) преобразуют цифровой дискретный сигнал в непрерывный аналоговый сигнал. Квадратурный преобразователь частоты обеспечивает перенос сформированного *OFDM* сигнала на промежуточную частоту $\omega_{\text{пр}}$.

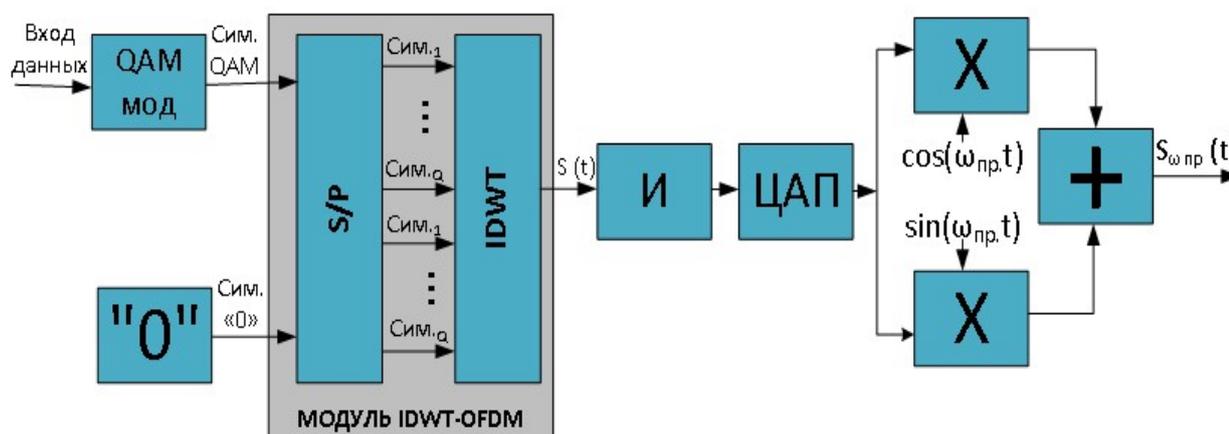


Рис. 1. Структурная схема устройства формирования *DWT-OFDM*

При формировании $DWT-OFDM$ сигнала в базисе вейвлет-функций, обратное вейвлет-преобразование осуществляет синтез сигнала $OFDM$ путем сложения материнских вейвлет с амплитудами, определяемыми значениями сформированного QAM -сигнала в соответствии с выражением (1).

При восстановлении $OFDM$ сигнала в базисе вейвлет-функций прямое вейвлет-преобразование осуществляет анализ сигнала путем определения степени корреляции между сформированным $OFDM$ сигналом и набором вейвлет-функций материнского вейвлета, каждая из которых имеет различный масштаб и сдвиг по времени относительно начала $OFDM$ сигнала в соответствии с выражением (3).

Практическое осуществление QAM -модуляции выполняется следующим образом. В памяти процессора хранится таблица значений квадратурных компонент $I(t)$ и $Q(t)$, имеющих в сигнальном созвездии и расположенных в порядке возрастания значения соответствующего символа. Процессор анализирует входную последовательность битов, разбивает ее на символы и для каждого символа выбирает соответствующие значения квадратурных компонент из таблицы.

Блок обратного дискретного вейвлет-преобразования $IDWT$, формирующий $OFDM$ сигнал, представляет собой набор квадратурных модуляторов. Если на вход блока $IDWT$ пришло N комплексных чисел с выхода QAM -модулятора, то на его выходе будет $2*N$ комплексных чисел, которые представляют $QAM-OFDM$ сигнал.

2. Результаты имитационного моделирования процесса формирования $DWT-OFDM$

Исследования процессов формирования $DWT-OFDM$ сигнала проводились в среде MatLab.

В имитационной модели процесса формирования $DWT-OFDM$, сигнал формировался при условиях:

- вейвлет «haar→dbl»;
- полоса частот 3100 Гц ;
- скорость передачи на поднесущих $QAM-OFDM$ сигнала 100 бит/с;
- размер сигнального созвездия $QAM-32$.

Проанализируем результаты имитационного моделирования процесса формирования $OFDM$ сигнала с QAM -модуляцией на каждой поднесущей.

На рис. 2 представлено созвездие сигнала $QAM-32$, формируемое на выходе модулятора QAM .

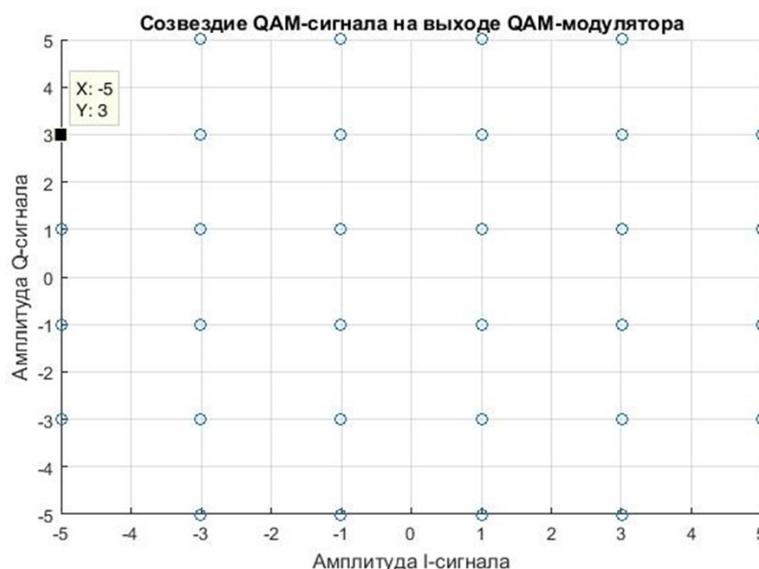


Рис. 2. Созвездие сигнала $QAM-32$

Из рис. 2 видно, что на выходе *QAM*-модулятора формируются комплексные сигналы, соответствующие комбинациям пятиразрядных символов.

На рис. 3 представлено созвездие сигнала *QAM-32*, формируемое на выходе модуля *IDWT*.

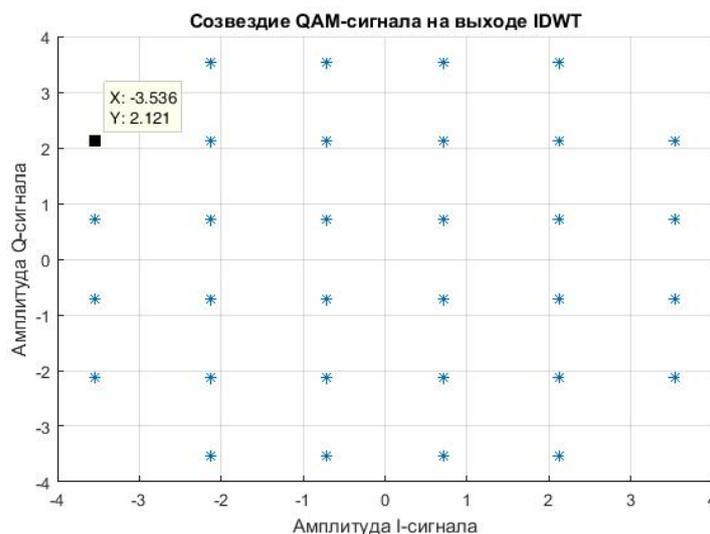


Рис. 3. Созвездие сигнала *QAM-32* выходе модуля *IDWT*

Из рис. 3 видно, что на выходе модуля *IDWT* также формируются комплексные сигналы, соответствующие *OFDM* дискретному сигналу, полученному в результате обратного дискретного вейвлет-преобразования.

Фаза сигнала на выходах *QAM*-модулятора и *IDWT* дискретного вейвлет-преобразователя определяется выражением:

$$\varphi = \arctg(Y/X), \quad (4)$$

где: Y – квадратурная составляющая сигнала; X – синфазная составляющая сигнала.

Используя выражение (4) определим фазу сигнала на выходах *QAM*-модулятора и *IDWT*.

$$\Phi_{QAM} = \arctg(3/-5) = -30,96^\circ.$$

$$\Phi_{IDWT} = \arctg(2,121/-3,536) = -30,96^\circ.$$

Таким образом, фаза преобразованного в *IDWT QAM* сигнала остается неизменной. Следовательно, обратное преобразование в *IDWT QAM* сигналов, при формировании *OFDM*, не вносит изменения в соотношение фаз *QAM* сигнала, а изменяет только амплитуду его синфазной и квадратурной составляющих.

На рис. 4 представлены символы *QAM-32*, поступающие на вход модуля обратного дискретного преобразования *IDWT*, прошедшие через канал с белым гауссовским шумом (*AWGN*) и обработанные в модуле прямого дискретного вейвлет преобразования *DWT*.

Из рис. 4 видно, что символы *QAM-32*, соответствующие одному символу *OFDM*, на входе *IDWT* и выходе *DWT* изменяются только по амплитуде, оставаясь при этом неизменными по фазе.

Эффективность использования полосы пропускания, выделенной для *DWT-OFDM* сигнала, сформированного на основе вейвлет-функции *haar*, редко рассматривалась в литературе. Рассмотрим, как влияет на спектральную плотность мощности сигнала сглаживание процесса его изменения.

Рассмотрим временные и спектральные характеристики сформированного сигнала *OFDM*. Для этого перейдем от дискретного сигнала к непрерывному используя метод интерполяции, реализованного в блоке И устройства формирования *DWT-OFDM*.

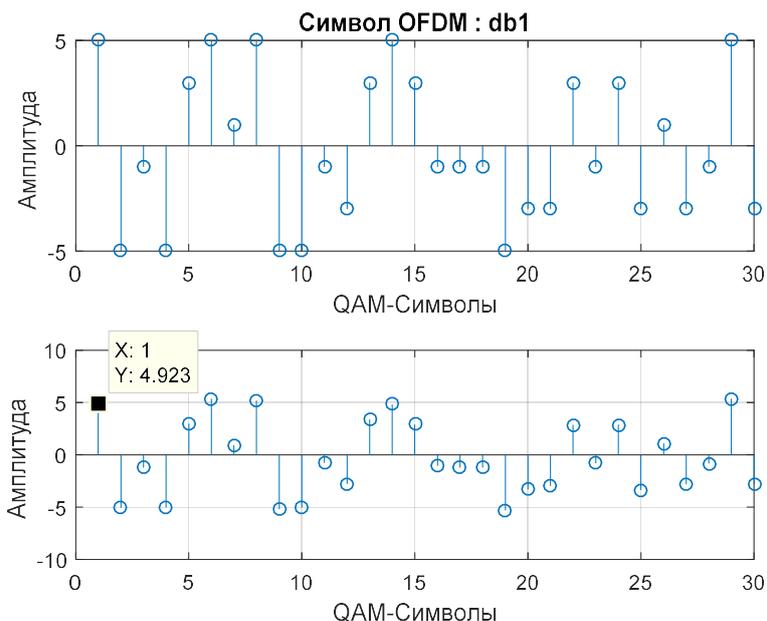


Рис. 4. Сигнал *QAM-32* на входе и выходе *AWGN* канала

На рис.5 показан *OFDM*-сигнал на длительности одного символа *OFDM*. На верхнем рисунке показан дискретный сигнал *OFDM*, а на нижнем-интерполированный линейным методом этот же сигнал.

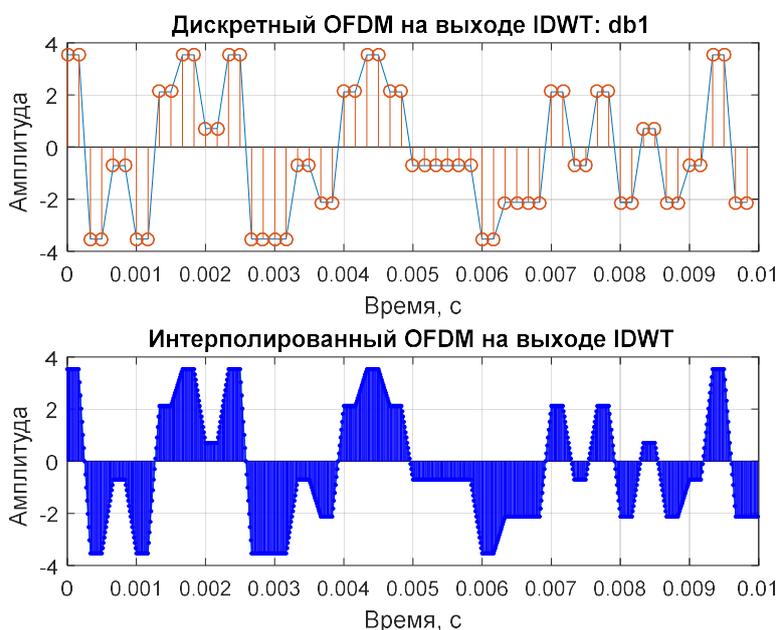


Рис. 5. *OFDM* сигнал на длительности одного символа *OFDM*

Из рис. 5 видно, что амплитуда, интерполированного линейным методом в блоке И устройства формирования *DWT-OFDM* сигнала, плавно изменяется. Таким образом, сигнал *OFDM* из дискретного преобразован в непрерывный дискретный, который в ЦАП преобразуется в аналоговый сигнал.

На рис. 6 показан спектр, интерполированного линейным методом, *OFDM* сигнала. Видно, что 99 % мощности сигнала концентрируется в полосе частот 3,386 кГц.

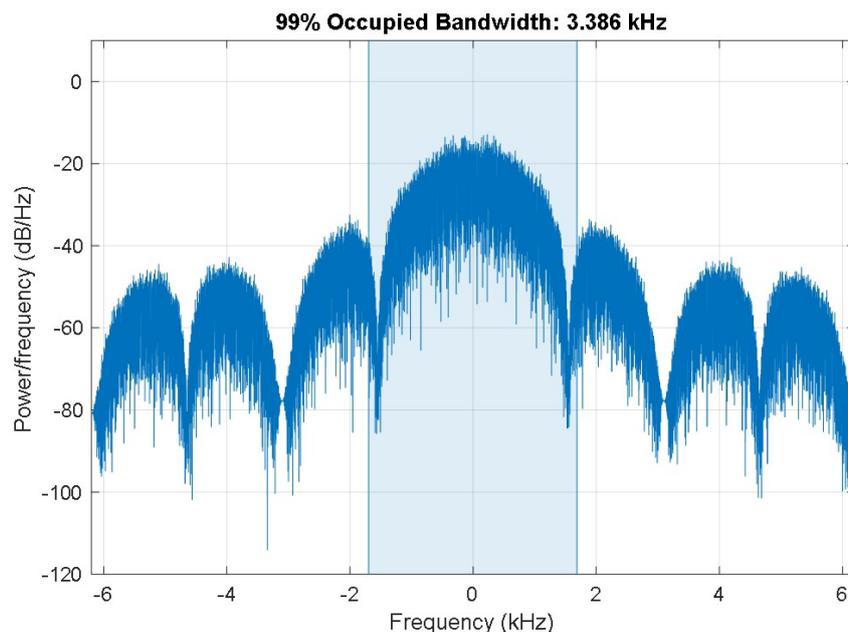


Рис. 6. Спектр непрерывного *OFDM*-сигнала на выходе *IDWT* (Line)

На рис. 7 показаны графики зависимости, интерполированного разными методами, *OFDM* сигнала на выходе *IDWT*. Непрерывной линией показан *OFDM* сигнал, интерполированный линейным методом, а штриховой линией – интерполированный методом с использованием быстрого преобразования Фурье (БПФ) входного сигнала, а затем обратного БПФ с использованием большего количества точек интерполяции.

Из графиков видно, что *OFDM* сигнал на выходе *IDWT*, интерполированный методом с использованием БПФ изменяется более плавно, чем при интерполяции линейным методом.

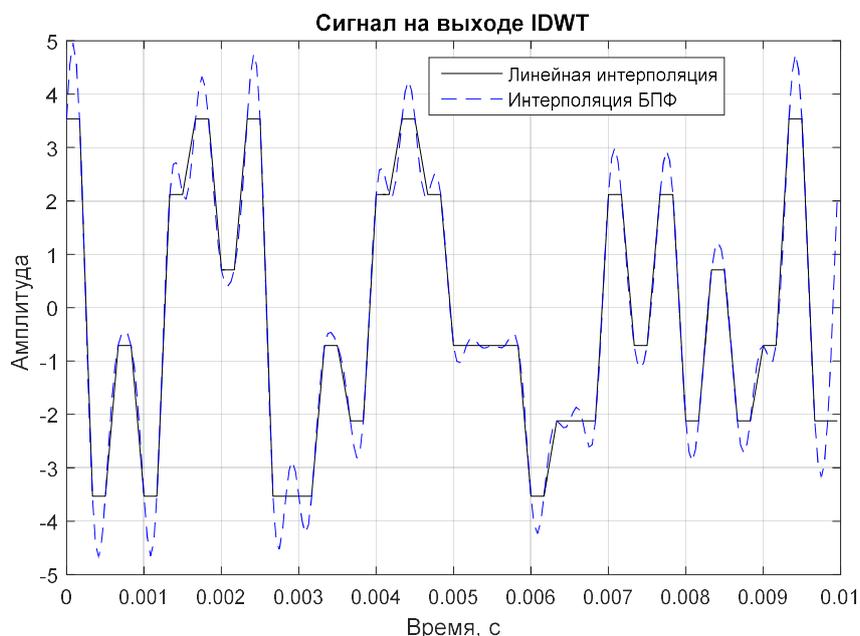


Рис.7. Интерполированный *OFDM* сигнал.

На рис. 8 показан спектр *OFDM* сигнала, интерполированный методом с использованием БПФ. Видно, что 99 % мощности сигнала концентрируется в полосе частот 2,536 кГц.

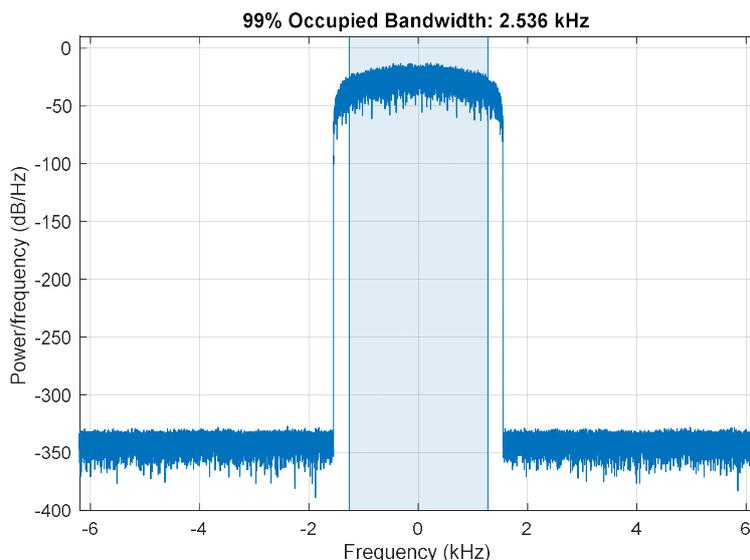


Рис. 8. Спектр непрерывного *OFDM* сигнала на выходе *IDWT* (БПФ)

Таким образом, *OFDM* сигнал, интерполированный методом с использованием БПФ, повышает эффективность использования выделенной полосы частот на 33,5 %.

На рис. 9 представлены спектры *OFDM* сигнала на выходе квадратурного преобразователя частоты.

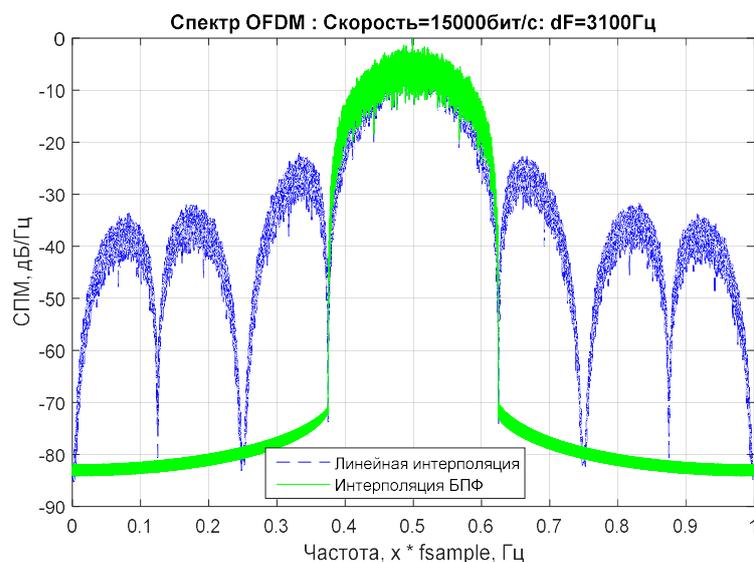


Рис. 9. Спектр *OFDM* сигнала на выходе квадратурного преобразователя частоты

Из рис. 9 видно, что энергия сигнала концентрируется как в основном, так и боковых лепестках спектральной диаграммы при линейном методе интерполяции в то время как при интерполяции с использованием БПФ вся энергия сосредоточена в основном лепестке спектрограммы.

В полосе частот 3100 Гц при скорости передачи информации 100 бит/с формируются 30 поднесущих частот. При использовании *OFDM* с *QAM-32* скорость передачи информации в этой полосе частот составляет 15 кбит/с.

Важной характеристикой *OFDM* сигнала является его пик-фактор. Большое значение пик-фактора приводит к нерациональному, по сравнению с сигналами с постоянной

амплитудой, использованию мощности передатчика, так как усилитель мощности передатчика должен работать в линейном режиме.

На рис. 10 приведен график зависимости пик-фактора интерполированного *DWT-OFDM* сигнала от размера созвездия, используемого в нем *QAM*-сигнала.

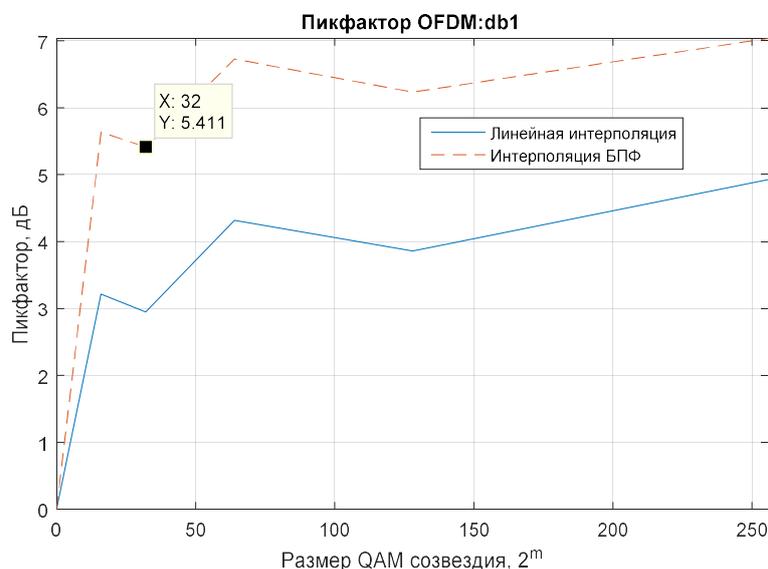


Рис. 10. Пик-фактор интерполированного *DWT-OFDM* сигнала

Из графиков рис. 10 видно, что при интерполяции *OFDM* сигнала с использованием БПФ пик-фактор увеличивается примерно на 2,5 дБ по сравнению с пик-фактором при его интерполяции линейным методом.

Из графиков рис. 10 также видно, что наименьшее значение пик-фактора *DWT-OFDM* сигнала наблюдается при размере созвездия равного *QAM-32*.

Выводы

1. При формировании *OFDM* сигнала с использованием обратного дискретного вейвлет-преобразования сохраняются фазовые соотношения между символами в созвездии *QAM-32* при использовании материнской вейвлет-функции *haar (db1)*.

2. Интерполяции с использованием БПФ приводит к плавному изменению *OFDM* сигнала и уменьшению полосы занимаемой им частот, однако при этом увеличивается его пик-фактор.

3. При плавном изменении *OFDM* сигнала на выходе *IDWT* его ширина спектра уменьшается, тем самым повышается эффективность использования выделенной для обмена информацией, полосы частот на 33,5 %.

Литература

1. J. A. C. Bingham, "Multicarrier modulation for data transmission: An Idea Whose Time Has Come", *IEEE Communications Magazine*, vol. 28, no.5, pp. 5-14, 1990.
2. G. Li and G.L. Stuber, *Orthogonal frequency division multiplexing for wireless communications*, Springer, 2006.
3. Van De Beek, et al, *Orthogonal frequency division multiplexing (OFDM)*, Review of Radio Science 1996-99, Intern. Union of Radio Science (URSI), 1999.
4. V. Kumbasar and O. Kucur, "Better wavelet packet tree structures for PAPR reduction in WOFDM systems," *Digital Signal Processing*, 2008, Vol. 18, No. 6, pp. 885-891.
5. Смоленцев Н.К. *Основы теории вейвлетов. Вейвлеты в MATLAB*. – М.: ДМК Пресс, 2009. – 448 с.

References

1. J. A. C. Bingham, "Multicarrier modulation for data transmission: An Idea Whose Time Has Come", IEEE Communications Magazine, vol. 28, no.5, pp. 5-14, 1990.
2. G. Li and G.L. Stuber, Orthogonal frequency division multiplexing for wireless communications, Springer, 2006.
3. Van De Beek, et al, Orthogonal frequency division multiplexing (OFDM), Review of Radio Science 1996-99, Intern. Union of Radio Science (URSI), 1999.
4. V. Kumbasar and O. Kucur, "Better wavelet packet tree structures for PAPR reduction in WOFDM systems," Digital Signal Processing, 2008, Vol. 18, No. 6, pp. 885-891.
5. Smolentsev N.K., Fundamentals of the theory of wavelets. Wavelets in MATLAB. - Moscow: DMK Press, 2009. - 448 p. (in Russian).

Статья поступила 31 августа 2022 г.

Информация об авторах

Щукин Анатолий Николаевич – Кандидат технических наук. Главный специалист ПАО «Интелтех». E-mail: ShchukinAN@inteltech.ru. Тел.: (812) 448-95-94.

Солозобов Сергей Анатольевич – Кандидат технических наук, доцент. Начальник НИО-0630, ПАО «Интелтех». E-mail: solozobob@inteltech.ru. Тел.: (812)295-40-54.

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

Formation of a spectral-efficient OFDM signal in the basis of discrete wavelet functions

A.N. Shchukin, S.A. Solozobov

Annotation. *The purpose of the article is to show how Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) signals can be generated using a discrete wavelet transform. The time, spectral and energy characteristics of OFDM signals obtained as a result of simulation modeling of the process of their formation based on discrete wavelet transform are presented. Currently, OFDM is implemented using Fast Fourier Transform (FFT). In the scientific literature, this method is referred to as FFT-OFDM. FFT-OFDM is one of the main methods of signal generation, which is used for the design of data transmission systems. FFT-OFDM has significant disadvantages, such as a decrease in the efficiency of using the allocated frequency band due to the use of a protective time interval (cyclic prefix) to reduce inter-character interference between both OFDM symbols and between symbols on subcarriers, as well as its relatively high peak factor. With the development of the theory of wavelet analysis, discrete wavelet transform has been used to generate OFDM signals. In the scientific literature, this method is referred to as (Discrete Wavelet Transform-DWT) DWT -OFDM. Currently, OFDM signal generation by the DWT-OFDM method is becoming an alternative to the conventional FFT-OFDM method. The results of the graphics obtained as a result of modeling OFDM signals are presented. The analysis of the obtained results is carried out. The results of the work can be implemented when creating radio communication complexes.*

Keywords: *Orthogonal Frequency Division Multiplexing signal, power spectral density, symbol, constellation, interpolation, peak factor.*

Information about Authors

Anatoly Nikolaevich Shchukin – Candidate of Technical Sciences, Chief Specialist of PJSC "Inteltech". E-mail: ShchukinAN@inteltech.ru. Tel.: (812) 448-95-94.

Sergey Anatolyevich Solozobov – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of NIO-0630, PJSC "Inteltech". E-mail: solozobob@inteltech.ru. Tel.: (812) 295-40-54.

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

Для цитирования: Щукин А.Н., Солозобов С.А. Формирование спектрально-эффективного OFDM сигнала в базисе дискретных вейвлет-функций // Техника средств связи. 2022. № 3 (159). С. 80-89. DOI: 10.24412/2782-2141-2022-3-80-89.

For citation: Shchukin A.N., Solozobov S.A. Formation of a spectral-efficient OFDM signal in the basis of discrete wavelet functions. Means of Communication Equipment. 2022. No. 3 (159). Pp. 80-89. DOI: 10.24412/2782-2141-2022-3-80-89 (in Russian).

ОБЪЕКТЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ И ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОБЛАСТИ РАЗРАБОТКИ СРЕДСТВ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ

УДК 347.747.2

DOI: 10.24412/2782-2141-2022-3-90-98

Linguistic analysis of microwave terms

E.N. Mikhaylova

Annotation: *Changes related to scientific and technological progress are reflected in all spheres of life, affecting such a fundamental phenomenon as language. The vocabulary of any language is updated with new scientific terms every day, and terminological dictionaries lose their relevance very quickly. Terminology has developed particularly rapidly over the past decades as a result of the rapid advance of science and technology. Therefore, one of the most important problems of modern linguistics is the study of terms and term systems. The need to analyze the types of microwave terms in order to further systematize them accounts for the relevance of this work.*

Keywords: *term, microwave terms, term formation, abbreviation, affixation, combination of words, etymology.*

Definition of the term and its main functions

Human language activity is a direct reflection of the constant development of science and technology. With the beginning of the scientific and technical revolution (NTR), which began after the World War II and continues to this day, there was a rapid increase in the volume of special vocabulary in the language. Progress in science and technology, as well as accompanying social changes in society lead to "a radical restructuring of the conceptual apparatus of many scientific disciplines and the emergence of new branches of knowledge", to the formation of "new concepts, which dramatically increases the need for a nomination". All this causes the formation of a large number of new terms, making a change in the existing terminological systems. In turn, linguists should turn the "terminological explosion", which is of a spontaneous nature, into a controlled process.

Despite the relatively long study of terms, there is no generally accepted definition of this concept. One of the main reasons for this abundance of various definitions is that the term is an object of a number of Sciences at the same time, each of which seeks to highlight in it such features that from its point of view are considered essential.

The information contained in a term is usually related to its etymology. Thus, in the "Etymological dictionary of the Russian language" Fasmer indicated that the Latin terminus means "border sign".

The Linguistic encyclopedic dictionary states: "the term (from lat. terminus-border, limit) - a word or phrase denoting the concept of a special area of knowledge or activity. It is included in the General lexical system of the language, but only through the medium of a specific terminological system (terminology)".

In the "Explanatory dictionary of the Russian language" By D. N. Ushakov, the concept "term" refers to a word that is the name of a strictly defined concept, or a special word and expression adopted to refer to something in a particular environment, profession.

In linguistics, the term is often understood as "a word or phrase of a special (scientific, technical, etc.) language created (accepted, borrowed, etc.) for the exact expression of special concepts of designation of special objects".

The Cambridge Dictionary States that a term is "a word or expression used in relation to a particular topic, often to describe something official or technical", while in the Oxford Living

Dictionaries it is "a word or phrase used to describe something or Express an idea, especially in a particular kind of language or field of science" (hereafter translated by the author).

E.N. Taranova defines the term as a unit of natural or artificial language, which has a special terminological meaning as a result of spontaneously formed or conscious collective agreement, showing significant signs of the corresponding concept at this stage of development of science and technology.

In Plato's time, logicians preferred to consider the term "abbreviated definition or exact name of a strictly defined concept of science, technology, etc.". Pre-linguistic studies have defined the term only in terms of its external characteristics. For example, G.V. Leibniz believed that the terms "are not used, but are inherent in the entire speech of a certain person or group of people". G. Paul argued that the terms are used "mainly or exclusively by representatives of certain professions".

The technical sciences, however, prefer to see in terms the words that denote technical devices, parts, devices, etc. in a particular environment, profession.

Many linguists hold a functional view of the nature of the term, according to which the term is "not a special word, but a word in a special function". So, almost any word can become a term, and any term as a result of determinologization to pass into the category of common words. Currently, this theory finds an increasing number of supporters who seek to identify the function that the term causes in relation to the concept.

Traditionally, the function of the term is understood as "the role that the term performs as a means of designating a General special concept". Many researchers distinguish two main functions of the term as nominative and definitive. Some consider its main function to be nominative, while others consider it to be definitive. So, the first point of view is held by S. V. Grinev, defining the term as "a nominative special lexical unit (word or phrase) of a special language, accepted for the exact name of special concepts". V.V. Vinogradov is a supporter of the second point of view, arguing that "the word performs either a nominative or a definitive function, because either it is a means of clear designation, and then it is a simple sign, or a means of logical definition, then it is a scientific term".

It should also be mentioned that some linguists consider the term as a lexical unit that performs both nominative and definitive functions, since they claim that "the term denotes a whole fragment of the General system of knowledge" (nominative function) and replaces the definition (definitive function).

In addition to the two above-mentioned functions of the term, many scientists distinguish its other functions. For example, M.N. Mironova and L.V. Epoeva say that the term conveys special knowledge to the recipient with establishing feedback, performing a communicative function, as well as a heuristic function, opening him new knowledge .

Thus, the concept of "term" can be understood as a lexical unit that denotes a certain concept or phenomenon from a specific area of knowledge. Such functions as nominative, definitive, communicative and heuristic can be distinguished.

Main characteristics of terms

Many researchers have identified the following characteristics of the term that distinguish it from common units of the language: lexical and word-forming system; unambiguity; stylistic neutrality; definition; nominative character; independence of the term from the text.

However, it should be noted that scientists have recently become increasingly aware that certain features of terms should be revised, since most of them do not meet these requirements. Thus, the above characteristics are desirable rather than strictly established. Moreover, some of them raise serious objections. The term can denote units of scientific knowledge, expressing specially professional, scientific and technical concepts.

Many researchers argue that a term can be unambiguous within a single terminological field. However, it is often possible to meet such a phenomenon when the term has several meanings at once. For example, the term *javelin* in one case refers to a short throwing spear, in the other – a type of jet projectile for hitting air targets. As we can see, both values belong to the same subject area. Therefore, it can be argued that this feature is not typical for all units of terminological vocabulary.

The objectivity of the concept content should make the term reflecting it neutral in the stylistic and emotional-expressive relation. According to T. Savory, who emphasized emotional neutrality, terms are just signs that convey a certain amount of encoded information. However, this point of view is not completely justified, because the formation of specialized vocabulary is based on a motivating feature, which in some cases can cause associations. For example, *stealth fighter "Stealth"* (fighter – "fight, fight", stealth – "trick, trick").

Another characteristic that some of the scientists question is definitiveness, i.e., the presence of a definition. Although previously it was recognized as one of the essential, but over time, the very requirement for its presence has become essential. So, V. M. Leychik argues that definitiveness is not a sign of the term, because there are many terms, the meaning of which is still not fully defined in the verbal definition. Example can serve as many linguistic terms such as "word", "sentence", etc.

Another controversial characteristic is the independence of the term from the text. I. N. Volkova believes that it is on the basis of terms that are the main type of specialized vocabulary, and not on the basis of other lexical units that "scientific theories, laws, principles and proposals are formed". Therefore, the signs of any term can only be lexical and word-forming system and nominative character.

Classification of terms

Classification plays an important role in any field of science, helping scientists to identify the hierarchy of scientific concepts, fully disclose and demonstrate the logical connections and relationships within any subject area.

Individual features of the term can be used as a base for classification. Thus, T.R. Kiyak based his classification on the principle of word formation of terms, characteristic in General and for common units, highlighting: terms-root words: a) native non-derivative vocabulary (*nos*); b) borrowed non-derivative vocabulary (*atom*); derived vocabulary: a) terms formed by suffixation (*peephole*); b) terms formed by means of prefix (*cutting*); terms-complex words (*concrete mixer*); the terms - word combinations (*computing machine*); terms-abbreviations (*ACS-automatic control system*); letter symbols (*gamma rays*); symbols (signs) – for example, mathematical, chemical, etc.; nomenclature.

S.V. Grinev-Grinevich already considers the classification of terms in more detail, highlighting such four aspects as the form and structural features of terms, their meanings, historical features and features of their use.

According to their origin, terms can be divided into native and borrowed. "Native terms are terms that have long existed or formed in a given language." In turn, taking into account the origin of the original terms can be distinguished: non-derivative (no change in form); derivatives (with the help of morphological and syntactic ways); composite (addition of bases); elliptical (omission of one of the words of the original phrase); abbreviations (truncation of words of initial phrases).

"Borrowed terms are those that are completely or separate aspects ... borrowed from other languages", which are divided into materially borrowed terms (borrowed form), terms-tracing paper (borrowed structure; for example, skyscraper-skyscraper) and with borrowed semantics (for example, a picture in the cinema under the influence of a similar change in the English word picture). In addition, there are hybrid terms, one part of which is borrowed, and the other-translated or native. This includes half-glasses (TV) and half-borrowings (assembler).

Taking into account the semantic structure of terms, S.V. Grinev-Grinevich distinguishes unambiguous (monosemic) and polysemous (polysemical), as well as motivated (partially and completely) and unmotivated. Speaking about the regional variety of terms, S.V. Grinev-Grinevich distinguishes internationalisms, national terms, regionalisms and local terms.

Classification based on various individual features of terms is also suggested by V.M. Leychik. by denotation: observation terms; theoretical terms; the object of nomination (the distribution of the languages for special purposes): the science; technology; production; economics, etc.; by category of the designated concept: object terms (mammals, Protocol); process terms (multiply, compression); terms of signs (redness); terms of quantities and their units (current, ampere).

Like S.V. Grinev-Grinevich, V.M. Leychik classifies terms by content and motivation. However, he also highlights such aspects as the scope of use of terms (universal, unique, conceptual-author), the frequency of their use (high -, medium-and low-frequency) and the historical aspect (terms-archaisms, terms-historisms, terms-neologisms).

Based on the number of individual lexical units included in the structure of the term, K.V. Filina suggests a structural classification, according to which all terms are divided into one-component and multi-component. "One-component, or monosyllabic, terms – terms with a one-component or one-word / monosyllabic structure, formed by derivation, word structure, truncation, contraction (telescoping), abbreviation, reversion". Examples include words like *hacker*, *helicopter*, *spam*, *supersensitive*, *iPhone*, *Internet*, etc. "Multicomponent or polysyllabic terms are terminological phrases consisting of two or more lexical units". Also, depending on the number of components, they are classified as two-component, three-component, four-component, etc. In most cases, terminological combinations in English contain two or three components that are formed according to different models.

The above-mentioned list of classifications of terms does not contain all the classifications that exist today. This allows us to conclude that the concept of "term" is so versatile that it can be included in a variety of classifications on a variety of principles.

Ways of term formation

The emergence of new scientific ideas, the development of new technology, the creation of new technological processes leads to the formation of new terms.

A.V. Parshin considered affixation, word structure, conversion, direct borrowings, abbreviations and a combination of two or more methods to be the most productive ways of term formation.

Affixation is the formation of new terms by adding Latin and Greek prefixes and suffixes to the root or base of a word. Among prefixes that are most actively involved in the process of term formation, the scientists distinguishes *pre-* (*predesign*), *de-* (*descent*), *inter-* (*interchangeability*), *un-* (*unload*), *re-* (*reentry*), *trans-* (*transition*), *pro-* (*processing*), *ex-* (*expansion*), *dis-* (*disconnect*), *in-* (*inaccessible*), *sub-* (*subassembly*), and others. Suffixes *-er*, *-or*, *-ENT*, denote the person, mechanism, or unit producing the action (rigger, combustor, absorbent); *-ion*, *-ation*, *-ment*, *-ance*, *-ence*, *-ing*, express some concepts (identification, procedure, inference); *-ism*, *-ty*, *-ity*, *-ness*, which denote abstract nouns formed from adjectives (formalism, safety, continuity); *-able*, *-ible*, *-ive*, *-ent*? *-left* definitions formed from verbs (reusable, convertible, interactive); *-y*, *-IC*, *-al*, *-ical*, *-ous*, *ious*, *-less*, *-ar* (grainy, systematic, stallless).

Under the term word structure A.V. Parshin understands the formation of new one-word terms from two or more words or their bases. Unification can occur without a connecting vowel, with a connecting vowel, and with a hyphen (for example, *air* + *lock* => *airlock*; *stall* + *proof* => *stall-proof*).

Conversion is the transition of an existing word or term from one part of speech to another without changing the spelling and pronunciation. The most productive in modern English is the

formation of verbs from nouns (*a generator* → *to generator*). The reverse process is much less common (*to lay out* → *layout*).

New terms in English can also be directly borrowed from other languages, mainly from Latin and Greek (for example, *locus* – the geometric place of points; *versus*-depending on, as a function of an argument).

There are many modern English terms that are formed by shortening words or phrases. All this is due to the fact that complex terms are too cumbersome and inconvenient in an era of rapid pace of people's lives. Like whole words, abbreviations can perform various syntactic functions and follow the morphological laws of English grammar.

There are alphabetic abbreviations (*E* – *east*, *e-mail* – *electronic mail*, *Emf* – *electromagnetic force*) and syllabic (*intercom* – *intercommunication*, *chemurgy* – *chemistry metallurgy*, *Retma* – *Radio-Electronics-Television Manufacturers Association*). Other abbreviations include shortened words (*sub* – *submarine*, *chute* – *parachute*, *Ry* – *railway*) and blending (*motor* + *hotel* → *motel*; *frog* + *smoke* → *smog*). An example of a combination of several ways of term formation: *to know* + *how* → *know-how*, formed by word composition and conversion.

Y.S. Belov, I.V. Gredina and A.K. Kuptsova distinguish the following five ways of term formation: semantic method – changing the semantics of the word when entering into the term systems of individual areas (*christmas tree-fountain fittings in the oil and gas industry*); morphological method: suffixation, prefixation, compounding; syntactic method - the connection of several words into a single whole, stable combination (*differential pressure-pressure drop*); borrowings; abbreviation: shortening of the base of components (*RoRo* = *roll-on, roll-off rolker transportation*); internal truncation/ellipsis (*pkge* = *package – packaging*); complex-abbreviated words (*ABC analysis* = *activity based costing analysis – analysis of the calculation of the cost of economic activity*); symbol-words (*OS&D* = *over, short and damaged – excessive, missing and damaged property*).

Y.S. Belova and I.V. Gredina classify the terms into one-word (one-component) and multi-word (multi-component). They argue that the following models are most characteristic of two-component terms: N + N (*mass media, public relations, intelligence quotient*); Adj + N (*compact disk, crude oil, long loan*); Part I + N (*managed conditions, misrelated part*); Gerund + N (*boiling point, drilling engineer*); Adj + Gerund (*global learning, global marketing*).

Three-component terms are formed according to productive patterns: N + N + N (*market research tool, bar code reader*); Adj + N + N (*interplanetary space station*); Adj + Adj + N (*Present Continuous Tense, International Monetary Fund*); N + Prep + N (*bill of exchange, letter of attorney*); Participle II + Adj + N (*expanded simple sentence*); Participant II + N + N (*animated cartoon designer*).

O.A. Dorzheeva and S.N. Gorelikova offer a different classification of methods of term formation: by changing the meaning of common literary words; borrowing terms from other branches of science and technology; affixation; multicomponent terms; foreign borrowing; with the help of proper names (*Shiff reaction – Schiff reaction*).

It should also be noted that both linguists formulate and distinguish another classification, which reveals another way of term formation - the terminologization of common vocabulary, which can be based on: similarity of external signs (*tooth-tooth, prong; head-head; crane-crane*); similarity of functions (*wing-airplane wing, to doctor-troubleshoot*); adjacency of concepts (metonymy: *tara-packaging, weight; synecdoche: motor-motor and car*); analogy of concepts (*fatigue-metal fatigue, exhaust-exhaust, exhaustion*).

T.V. Akulin, T.V. Aleynikova, E.G. Bezzateev divide term formation into three types. The first is a metaphor, which is understood as the transfer of the meaning of a word on the basis of similarity of features or functions of certain objects and phenomena. Metaphorization is based on: the similarity of the forms; the similarity of the functions, actions; similarity of sounds; similarity of impressions, complex associations under the influence of objects.

The second type is metonymy, i.e. the transfer of names from one subject to another on the basis of their adjacency, which is expressed in: relationship between form and content; relationship between an action and its result; relationship between the author and his work; the connection between the whole object and its part.

And the third type of terminologization is the narrowing of the meaning – "the process of reducing the volume of the studied concept, i.e. the number of named objects and phenomena". This is due to the fact that some words begin to be used in certain contexts, i.e. become semantically specialized. The narrowing arises when one of the meanings of the word or part of it is "cut off", leading to the concretization of the meaning.

Summing it up, it can be noted, that in the formation of terms, the same laws apply as in the formation of other lexical units, but, while some ways of word formation are more common, others fade into the background.

Analysis of microwave terms

To identify the most productive ways of term formation in the field of microwave technology in the English language, 170 terms from the specialized English dictionary Magic Tubes as well as from the internet site Microwave Journal were selected.

It is possible to offer the following classification of ways of formation of the considered terms:

1. Affixation (55 units): a) suffix method - *connector, damping, modulation* (34 units); b) prefix method - *ammeter, microphone, multiplier* (10 units); c) prefix-suffix method - *interrupter, attenuator, arrester* (11 units);
2. Word structure - *autostop, dictophone, electrometer* (22 units);
3. Abbreviations (22 units): a) letters - *NF, VSWR, SNR* (20 units); b) alphanumeric - *FiWi, XoIP* (2 units);
4. Terminology combinations - *cophased arrays, coupling frequency* (60 units);
5. Terminologization of common words (11 units): a) metaphor (9 units); b) metonymy (2 units). Further detailed consideration of each of the methods will be suggested.

Affixation

After analyzing the terms, we can conclude that the most productive of affixal ways of word formation is suffixation (61.8%).

The most frequent suffix was the suffix -or/-er (17 units), which serves to indicate the person or mechanism that performs a certain action. For example, *accumulator* - from "*accumulate*".

The suffix -ing (8 units) is less productive. An example is the term *pulling*, derived from the verb "*to pull*".

Next by the frequency is the suffix -ion (4 units). There are cases when this suffix has changed not only the pronunciation of the word, but also its spelling: *adaptation, calibration*. Also, other suffixes were observed in microwave term formation, the proportion of which is relatively lower than the previous ones (5 units). For example, -ance - *clearance*; -ity - *permittivity*; -ness - *brightness*.

The second most productive of all affixation ways is the prefixation-suffixation method, which is used to form 20% of the terms considered (for example, *multi-vibrat-or, anti-reson-ance, auto-form-er*).

As for the prefixation method, the most productive are such prefixes of Greek-Latin origin as *under* - (2 units) - *undercurrent*; *multi* - (3 units) - *multielrectrode*; *micro* - (1 unit) - *microphone*; *super* - (1 unit) - *superheterodyne*, as well as *re* -, which renders the meaning of repetition (1 unit) - *retrace*; *over* - (1 units) - *overcurrent*.

We should also mention the prefix *uni* - (1 unit), which is the unity of something. An example of a term with this prefix could be the word: *unipole*.

Compounding

The most frequent compounding models of the microwave technologies terminology can be classified in this way: N + n – *net + work* → *network* (11 units); Adj. + N – *loud + speaker* → *loudspeaker* (7 units); Prep. + N – *out + door* → *outdoor* (4 units). It must also be noted that such terms can be written in different ways: using a hyphen (*one + way* → *one-way radio*) or without a hyphen (*fly + back* → *flyback*).

Reductions

After analyzing the terms, we can distinguish the following types of abbreviations: alphabetic – *BSC* (*base station controller*), *ODF* (*optical distribution frame*), *SP* (*Signaling Point*) – 9.1%; alphanumeric-syllabic abbreviations are formed by combining the initial letters of some components of the term and part of the other or the whole word: *FiWiBAN* (*Fiber-Wireless Broadband Access Network*), *XoIP* (*X over IP*) – 0.9%.

Special attention in the formation of microwave terms should be given to acronyms – abbreviations formed from the initial letters of words or phrases, but which are pronounced as a single word, not letter by letter, unlike other kinds of abbreviations. For example, *LIFO* (*Last In, First Out*), *SWOT* (*Stengths, Weaknesses, opportunities, Threats*) *WiMaX* (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*).

Terminology combinations

The study revealed that terminological combinations, or term combinations, are the most common type of microwave terms from a structural point of view, which accounts for about 35.3 % of the total number of analyzed units.

Depending on the number of components, term combinations can be divided into two -, three -, four - and five-component ones. The results of the study showed that the most common type of term combination is two-component combinations (49 units).

Among the studied terms, the following models of two-component terms can be distinguished, arranged in order of decreasing productivity: N + N – *aerial tuning, air gap, amplification control* (21 units); Adj. + N – *acoustic power, amateur code, atmospheric noise* (15 units); Part II + N – *activated cathode, balanced network, bariated cathode* (9 units); Gerund + N – *absorbing load, althernating current, amplifying valve* (4 units).

The main models typical of the analyzed three-component vehicles (7 units) are N+N+N (*amateur radio communication*) and A+N+N (*actual broadcasting program*).

In the course of the analysis, four - and five-component vehicles were also found, but their number is significantly lower than two-and three-component vehicles (4 units). For example, *amateur television broadcast station, circular polarization of electromagnetic waves*, etc.

Terminologization of common vocabulary

The number of terms formed using the words of common vocabulary accounted for 7 %. Metaphorized terms accounted for 5.9% of the total number of all lexical units. Examples of transferring a value based on external similarity are words: «*band*» (группа-диапазон), «*bar*» (бар-штанга), «*choke*» (душить-броссель), «*compounds*» (компоненты-компаунды), «*cone*» (конус-диффизор), based on similarity of functions – «*dial*» (циферблат-шкала радиоприемника), «*doublet*» (копия-диполь), «*driver*» - (водитель-возбудитель).

Metonymic processes account for a smaller share-about 1.2%. The analysis showed that the transfer of values occurs for such types as whole and part («*mount*» - держатель крепления-ножка прибора), as well as the process and the tool of the process («*feeder*» – питание-передающее устройство).

References

1. Akulina T.V, Aleinikova T.V, Bezzateeva E.G. and others. Methods of thermal formation in Russian: monograph. Omsk: IC "Omsk Scientific Bulletin," 2008. 170 p.
2. Asimov P.A, Desheriev J.D, Nikolsky L.B, et al. Modern social development, scientific and technical revolution and language. Issues of linguistics. 1975. №2. P. 3-11.
3. Alimuradov O.A., Latu M.N., Razduiev A.V. Features of the structure and functioning of industry thermal systems Monosystems (using the thermal system of nanotechnology): Pyatigorsk: 2011. 112 p.
4. Bagana Zh., Taranova E.N. Thermal education in the language of science: Monograph. Moscow. INFRA-M, 2012. 144 p.
5. Vinokur G.O. On some phenomena of word formation in Russian technical terminology. Collection of articles on linguistics. T.5 M., 1939. 3-54 p.
6. S.V. Grinev Introduction to Term Studies. Moscow Lyceum, 1993. 309 p.
7. Grinev-Grinevich S.V. Terminology: a textbook for student. higher education. education. Moscow. Publishing Center "Academy," 2008. 304 p.
8. Leychik V.M. Terminology: Subject. Methods. Structure. Moscow. KomBook, 2006. 256 p.
9. Leychik V.M. Terminology: Subject, methods and structure. Ed. 5th, isp. And additional. M.: Book House "Librocom," 2012. 264 p.
10. Belova Yu.S., Gredina I.V. Leading proposals and problems of thermal formation in Russian//URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24833586&>.
11. Gorelikova S.N. The nature of the term and some features of thermal formation in Russian. Bulletin of Orenburg State University. 2002. URL: http://vestnik.osu.ru/2002_6/27.pdf.
12. Dorzheeva O.A. The concept of "term" and the meaning of thermal formation in Russian. Bulletin of East Siberian State University. 2009. /Federal Recording Agency. URL-адрес:<https://esstu.ru/document/download.htm?documentId=1739>.
13. Mironova M.N., Epoeva L.V. Research of the term as the main application of the thermal system. URL.:<https://ntk.kubstu.ru/file/923>.

Литература

1. Акулина Т.В., Алейникова Т.В., Беззатеева Э.Г. и др. Способы терминообразования на русском языке: монография. Омск: ИЦ «Омский научный вестник», 2008. 170 с.
2. Азимов П.А., Дешериев Ю.Д., Никольский Л.Б. и др. Современное общественное развитие, научно-техническая революция и язык // Вопросы языкознания. 1975. №2. С.3-11.
3. Алимуратов О.А., Лату М.Н., Раздуев А.В. Особенности структуры и функционирования отраслевых терминосистем Моносистем (на использовании терминосистемы нанотехнологий): Пятигорск: 2011. 112 с.
4. Багана Ж., Таранова Е.Н. Терминообразование на языке науки: Монография. М.: Инфра-М, 2012. 144 с.
5. Винокур Г.О. О некоторых явлениях словообразования в русской технической терминологии // Сборник статей по языковедению. Т.5 М., 1939. 3-54 с.
6. Гринев С.В. Введение в терминоведение. М.: Московский лицей, 1993. 309 с.
7. Гринев-Гриневиц С.В. Терминоведение: учеб. пособие для студ. высш. учеб. образования. М.: Издательский центр «Академия», 2008. 304 с.
8. Лейчик В.М. Терминоведение: Предмет. Методы. Структура. М.: КомКнига, 2006. 256 с.
9. Лейчик В.М. Терминоведение: Предмет, методы и структура. Изд. 5-е, испр. и доп. М.: Книжный дом «Либроком», 2012. 264 с.
10. Белова Ю.С., Гредина И.В. Ведущие предложения и проблемы терминообразования на русском языке // URL:<https://elibrary.ru/item.asp?id=24833586&>.
11. Гореликова С.Н. Природа термина и некоторые особенности терминообразования на русском языке. // Вестник Оренбургского государственного университета. 2002. URL-адрес:http://vestnik.osu.ru/2002_6/27.pdf.
12. Доржеева О.А. Понятие «термин» и значение терминообразования на русском языке. // Вестник Восточно-Сибирского государственного университета. 2009. // Федеральное агентство по записи. URL-адрес:<https://esstu.ru/document/download.htm?documentId=1739>.
13. Миронова М.Н., Эпоева Л.В. Исследование термина как основного применения терминосистемы // URL.:<https://ntk.kubstu.ru/file/923>.

Статья поступила 21 августа 2022 г.

Информация об авторе

Михайлова Елена Николаевна – Техник ПАО «Интелтех». Тел.: +7(812)542-90-54.

E-mail: intelteh@inteltech.ru. Адрес: 197342, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Кантемировская,

д. 8.

Лингвистический анализ электротехнических терминов

Михайлова Е.Н.

Аннотация: *Изменения, связанные с научно-техническим прогрессом, отражаются во всех сферах жизни, затрагивая такое фундаментальное явление, как язык. Словарный запас любого языка ежедневно пополняется новыми научными терминами, в связи с этим терминологические словари очень быстро теряют свою актуальность. Терминология особенно быстро развивалась в последние десятилетия в результате скорого развития науки и техники. Поэтому одной из важнейших проблем современного языкознания является изучение терминов и терминосистем. Актуальность данной работы обусловлена необходимостью анализа типов микроволновых терминов с целью их дальнейшей систематизации.*

Ключевые слова: *термин, электротехнические термины, терминообразование, аббревиатура, аффиксация, соединение слов, этимология.*

Information about Author

Elena Nikolaevna Mikhailova – Technician of PJSC «Inteltech». Tel. +7(812)542-90-54.

E-mail: intelteh@inteltech.ru. Address: 197342, Russia, St. Petersburg, 8 Kantemirovskaya St.

For citation: Mikhailova E.N. Linguistic analysis of microwave terms. Means of communication equipment. 2022. No. 3 (159). Pp. 90-98. DOI: 10.24412/2782-2141-2022-3-90-98.

Для цитирования: Михайлова Е.Н. Лингвистический анализ электротехнических терминов // Техника средств связи. 2022. № 3 (159). С. 90-98. DOI: 10.24412/2782-2141-2022-3-90-98.

**О ЖУРНАЛЕ «ТЕХНИКА СРЕДСТВ СВЯЗИ»
«MEANS OF COMMUNICATION EQUIPMENT»**

Научно-технический журнал «Техника средств связи» (перевод с англ. яз. «Means of Communication Equipment») – это рецензируемое научное издание, в котором публикуются результаты научных исследований специалистов в области современных инфокоммуникационных технологий и автоматизированных систем управления, средств связи и информационной безопасности.

Журнал является правопреемником издававшихся с 1959 года Министерством промышленности средств связи СССР всесоюзных журналов «Вопросы радиоэлектроники. Серия: Техника проводной связи» и «Вопросы специальной радиоэлектроники. Серия: Техника проводной связи». С 1975 года журнал издается под названием «Техника средств связи».

Учредитель и издатель журнала: Публичное акционерное общество «Информационные телекоммуникационные технологии» (ПАО «Интелтех»). Адрес учредителя и издателя журнала: 197342, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Кантемировская, д. 8.

Периодичность выхода журнала - 4 номера в год.

Публикация в журнале является научным печатным трудом.

Основное содержание издания представляют собой научные статьи и научные обзоры.

Информация предназначена для детей старше 12 лет.

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

Свидетельства о регистрации средств массовой информации, ISSN:

ПИ № ФС 77 – 80135 от 31.12.2020 г.;

ЭЛ № ФС 77 – 80136 от 31.12.2020 г.

ISSN (print): 2782-2141;

ISSN (online): 2782-2133.

РИНЦ (eLIBRARY ID: 77074)

Внимание! Уважаемые читатели! Открыта подписка на первое полугодие 2023 г.

Подписной индекс журнала «Техника средств связи» – 79656

Ссылки для оформления интернет-подписки на журнал:

<https://www.akc.ru/itm/means-of-communication-equipment/>;

<https://www.pressa-rf.ru/cat/1/edition/e79656/>

Будем рады видеть Вас в числе наших новых читателей!