

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

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

ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА ЖУРНАЛА:

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

ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА ЖУРНАЛА

Будко П.А. (Председатель редколлегии):
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

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

Лычагин Н.И. Заслуженный работник высшей школы РФ Заместитель директора научно-технического центра по развитию 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 директора – директор научно-технического центра ПАО «Интелтех». Д.т.н., профессор. Заслуженный деятель науки РФ

ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ:

Бобровский В.И. ПАО «Интелтех» (г. Санкт-Петербург).

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

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

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

Жуков Г.А. ПАО «Интелтех» (г. Санкт-Петербург).

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

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

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

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

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

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

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 of PJSC «Inteltech». Doctorate of Technical Sciences

JOURNAL DEPUTY EDITOR-IN-CHIEF:

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

JOURNAL DEPUTY EDITOR-IN-CHIEF

Budko P.A. (Editorial Board Chairman):
Academic Secretary of PJSC «Inteltech». Doctor of Technical Sciences, Professor

EDITORIAL COUNCIL MEMBERS:

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

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

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

Lychagin N.I. Higher School Honored Employee of the Russian Federation Deputy Director of Science and Technology Development Center of PJSC «Inteltech». Doctor of Technical Sciences, Professor

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

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

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

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

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

EDITORIAL BOARD MEMBERS:

Bobrovskiy V.I. PJSC "Inteltech" (St. Petersburg).

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

АДРЕС РЕДАКЦИИ: 197342. Россия. г. Санкт-Петербург, ул. Кантемировская, дом 8,
Телефон: +7 (812) 295-50-69; +7(812)448-95-97.
Факс: +7(812) 542-18-49. E-mail: tss@inteltech.ru.
Официальный сайт: www.inteltech.ru



Научно-технический журнал «Техника средств связи» – это рецензируемое научное издание, в котором публикуются результаты научных исследований специалистов в области современных инфокоммуникационных технологий и автоматизированных систем управления, средств связи и информационной безопасности. Журнал является правопреемником издававшихся с 1959 года Министерством промышленности средств связи СССР всесоюзных журналов «Вопросы радиоэлектроники. Серия: Техника проводной связи» и «Вопросы специальной радиоэлектроники. Серия: Техника проводной связи». С 1975 года журнал издается под названием «Техника средств связи».

Учредитель и издатель журнала: Публичное акционерное общество «Информационные телекоммуникационные технологии» (ПАО «Интелтех»). Адрес учредителя и издателя журнала: 197342, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Кантемировская, д. 8.

СОДЕРЖАНИЕ

Николашин Ю.Л., Мирошников В.И.
Создание подсистемы связи и обмена данными командной системы управления силами и средствами ВМФ.....2

Кулешов И.А., Талагаев В.И.
История разработки и производства в ПАО «Интелтех» оборудования для войск связи Вооруженных сил России.....11

ПЕРЕДАЧА, ПРИЕМ И ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ

Бобровский В.И.
Фрактальные алгоритмы многопользовательского детектирования «плотных» ансамблей сигналов.....15

Гук И.И.
Пространственная избирательность антенных решёток при цифровом приёме. Часть 2.....29

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

Ли Ю.Е., Васильев Н.В., Горбачев И.М., Прокопович Ю.В., Раков И.В.
Модуль оценки реализации требований к специальному программному обеспечению.....45

Шаптала В.С., Солнцев Д.В.
О современных форматах обмена данными между компонентами распределенной вычислительной системы.....51

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

Budko P.A., Vinogradenko A.M., Mezhenov A.V., Zarembo V.E.
Method of adaptive intellectual control of technical condition of radio-electronic systems59

ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Козин И.С., Рощин А.А.
Метод обеспечения безопасности информации при её обработке в информационной системе на основе машинного обучения.....70

РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ

Рыжкова Д.Н.
Обеспечение информационного обмена в группе глубокоогруженных робототехнических комплексов морского базирования...83

**ОБЪЕКТЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ И ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
В ОБЛАСТИ РАЗРАБОТКИ СРЕДСТВ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ**

Бикметова С.А.
Особенности специального регулирования прав сторон на результаты научно-технической деятельности при выполнении научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ за счет Российской Федерации.....90

CONTENTS

Nikolashin Y.L., Miroshnikov V.I.
Creating of a command communication and communication subsystem Navy Force and equipment control system.....2

Kuleshov I.A., Talagaev V.I.
History of development and production in PJSC "Inteltech" of equipment for communication troops of the Russian Armed Forces.....11

TRANSMISSION, RECEPTION AND PROCESSING OF SIGNALS

Bobrovsky V.I.
Fractal algorithms for multiple user detecting of "dense" signal assemblies.....15

Guk I.I.
The spatial selectivity of the antenna arrays with digital reception. Part 2.....29

COMPUTING SYSTEMS

Li Y.E., Vasiliev N.V., Gorbachev I.M., Prokopovich Y.V., Rakov I.V.
Module for evaluating the implementation of special software requirements communication and telecommunication systems.....45

Shaptala V.S., Solntsev D.V.
On modern data exchange formats between components of distributed computing system.....51

INTELLIGENT INFORMATION SYSTEMS

Будко П.А., Винограденко А.М., Меженев А.В., Заремба В.Е.
Метод адаптивного интеллектуального контроля технического состояния радиоэлектронных систем59

INFORMATION SECURITY

Kozin I.S., Roshchin A.A.
Method of Protection of Data in its Processing in Information System Based on the Machine Learning.....70

ROBOTICS COMPLEXES

Ryzhkova D.N.
Provision of information exchange in the group of deep-loaded marine robotics complexes.....83

**INTELLECTUAL PROPERTY OBJECTS AND INNOVATIVE TECHNOLOGIES
IN THE FIELD OF TELECOMMUNICATION EQUIPMENT DEVELOPMENT**

Bikmetova S.A.
Features of special regulation of the parties rights to the scientific and technical activities results during research, development and technological works at the expense of the Russian Federation.....90

К 110-ЛЕТИЮ СЛУЖБЫ СВЯЗИ ВОЕННО-МОРСКОГО ФЛОТА

УДК 623.93

Создание подсистемы связи и обмена данными командной системы управления силами и средствами Военно-морского флота

Николашин Ю.Л., Мирошников В.И.

***Аннотация.** В статье приведены основные вехи в истории ПАО «Интелтех», начиная с открытия в Санкт-Петербурге в 1898 году телефонной фабрики Л.М. Эриксона и до наших дней. Отражены события в стране и мире, повлиявшие на создание и производство средств связи для флота России. Рассказано о становлении и развитии предприятия и прямых связях со Службой связи флота, по заказам которой создавалась техника радиосвязи с кораблями и подводными лодками в различные исторические периоды. Показана эволюция нескольких поколений телеграфной техники и техники передачи данных, в результате которой была создана современная автоматизированная система связи и обмена данными с подводными лодками и надводными кораблями, являющаяся важнейшей подсистемой командной системы управления силами и средствами ВМФ. Также в статье представлены руководители, главные конструкторы, ведущие ученые и специалисты предприятия, внесшие существенный вклад в исследования, разработку, промышленное производство и внедрение оборудования системы связи и обмена данными в ВМФ.*

***Ключевые слова:** история предприятия, руководители предприятия, ведущие конструкторы и специалисты, телеграфия, передача данных, техника военно-морской радиосвязи, подсистема обмена данными командной системы управления силами и средствами ВМФ.*

На протяжении десятилетий публичное акционерное общество «Информационные телекоммуникационные технологии» (ПАО «Интелтех») остается одним из ведущих российских предприятий по проведению исследований, разработке и производству автоматизированных комплексов средств связи для системы управления подводными лодками (ПЛ) и надводными кораблями (НК) ВМФ России.

Образованное в Санкт-Петербурге в 1994 году ПАО «Интелтех» является правопреемником НИИ электротехнических устройств (НИИ ЭТУ), созданного в Ленинграде в 1952 году. В 1974 году институт вошёл в качестве головного предприятия в Ленинградское научно-производственное объединение (ЛПНО) «Красная Заря», история которого восходит к телефонной фабрике, основанной в 1897 году в Санкт-Петербурге, шведским предпринимателем Л.М. Эриксоном. В 1910 году на фабрике Л.М. Эриксона был организован военно-морской отдел, что впоследствии во многом предопределило военно-морскую направленность деятельности ПАО «Интелтех» и его предшественников.

Создаваемые учеными, инженерами и рабочими ПАО «Интелтех» системы, комплексы и средства связи военного и гражданского назначения являются ярким свидетельством развития отечественной телекоммуникационной техники во второй половине XX-го и начале XXI-го столетия. Телеграфия, телефония, фототелеграфия, передача данных и современные телекоммуникационные технологии – магистральные направления деятельности предприятия, в которых достигнуты результаты мирового уровня.

Большой вклад в развитие предприятия, в организацию исследований и разработок средств проводной и радиосвязи флота внесли директора: Д.А. Ермолаев (1953–1963 г.г.), Н.Г. Смирнов (1963–1970 г.г.), Ю.Г. Данилевский (1970–1986 г.г.), В.К. Евсеев (1986–1991 г.г.), О.Г. Мясников (1991–2003 г.г.) и Ю.Л. Николашин (с 2003 г. – по н. в., генеральный директор ПАО «Интелтех» и генеральный конструктор систем и автоматизированных комплексов связи ПЛ и НК ВМФ).

Высокий научно-технический уровень разработок подтверждается присуждением коллективу и ведущим специалистам предприятия двух Ленинских, двух Сталинских и восьми Государственных премий СССР, Государственной премии РФ, премии Правительства РФ, премии Правительства Санкт-Петербурга.

За годы деятельности ПАО «Интелтех» и его предшественников сформировались научные школы и подготовлены высококвалифицированные специалисты в области исследований и технологий производства средств связи, подготовлено 12 докторов наук и 42 кандидата технических наук. Ряд сотрудников удостоены почетных званий «Заслуженный деятель науки РФ», «Заслуженный конструктор РФ», «Заслуженный связист РФ», знаков «Изобретатель СССР» и «Почетный связист». На протяжении десятилетий одним из главных и традиционных направлений деятельности предприятия остается разработка способов и создание аппаратуры дальней оперативной связи стационарных береговых пунктов управления (БПУ) с пространственно рассредоточенными ПЛ и НК ВМФ и программно-технических средств автоматизации процессов связи (генеральный конструктор автоматизированной системы обмена данными ВМФ, генеральный конструктор ПАО «Интелтех» В.И. Мирошников).

В системе управления силами и средствами ВМФ радиосвязь с момента её появления глобально расширила информационное пространство и заняла главное место среди других способов связи флота. Российский военный флот, благодаря изобретателю радио А.С. Попову и вице-адмиралу С.О. Макарову, по праву считается колыбелью радиосвязи, так как зарождение и развитие радиосвязи неразрывно связано с созданием и боевой деятельностью флота России в XX-м и в XXI-м столетиях.

В 50-х годах XX-го века ВМФ России вступил в новую фазу развития, характеризующуюся началом военного противостояния («холодной войны») СССР и США и научно-технической революцией в военном деле. На флот возлагаются стратегические задачи по обеспечению обороноспособности и безопасности государства, поэтому в конце 50-х в начале 60-х годов в стране разворачивается строительство подводного океанского флота. В соответствии с новой стратегией и задачами вооруженной борьбы на морских и океанских театрах военных действий главными силами флота становятся морские стратегические ядерные силы (МСЯС), в состав которых входят дизельные ракетные подводные крейсера стратегического назначения (РПК СН). Для вооружения РПК СН во второй половине 50-х годов были созданы морские баллистические ракеты, оснащенные ядерными боеголовками.

Военно-политическим руководством страны перед командованием ВМФ ставится задача обеспечения устойчивого и высоконадежного управления РПК СН, находящимися в автономных плаваниях в оперативно-важных районах мирового океана. Главная составляющая процесса эффективного управления РПК СН – обеспечение дальней, непрерывной и скрытной связи. К решению задачи дальней связи с РП КСН были привлечены ведущие военные и гражданские научные организации и производственные предприятия страны, в том числе активное участие в создании средств дальней оперативной скрытной связи с РПК СН принял коллектив НИИ ЭТУ под руководством Управления связи и 34 НИИ связи ВМФ.

Для выполнения возросших требований к связи с ПЛ в 50-х годах в НИИ «ЭТУ» была разработана аппаратура сверхбыстродействующей (СБД) связи «Акула» (главный конструктор Д.Л. Партин). Аппаратура была предназначена для скрытного доведения до БПУ коротких донесений от ПЛ по КВ радиоканалам по заданной частотно-временной программе. Скрытность связи в направлении «ПЛ – берег» достигалась быстрой передачей с ПЛ на береговые КВ приемные радиопередатчики коротких сообщений в сеансы связи – при всплытии ПЛ на связь. Для обеспечения доставки информации на погруженные ПЛ в конце 50-х годов НИИ ЭТУ была разработана и в начале 60-х годов принята на вооружение аппаратура быстродействующей (БД) связи «Глубина» (главный конструктор Л.А. Колосов), работающая по специально созданным СДВ радиоканалам с использованием мощных радиостанций ВМФ.

С появлением в 60-х годах атомных ПЛ (АПЛ) в стране стал расширяться океанский флот. АПЛ с межконтинентальными баллистическими ракетами (МБР) переходят от отдельных автономных плаваний к постоянному боевому дежурству в оперативно-важных районах мирового океана. Постоянная боевая служба становится высшей формой поддержания боеготовности МСЯС. Глобальный пространственный охват действий МСЯС при одновременном поддержании их в постоянной боеготовности потребовал увеличения объема передаваемой информации и автоматизации процессов информационного обмена, а также дальнейшего повышения требований по оперативности, устойчивости и скрытности связи с ПЛ.

В 60-х годах в НИИ ЭТУ совершенствование БД и СБД связи по КВ и СДВ каналам радиосвязи было направлено на создание комплекса автоматической телеграфной связи «Дальность» (главный конструктор – Л.А. Колосов). Комплекс обеспечивал полную автоматизацию процессов передачи и приема больших объемов цифрового и буквенного текста, дублирование передачи сообщений по нескольким КВ и СДВ каналам, автоматическое линейное засекречивание, что существенно повысило надежность, оперативность и безопасность информационного обмена береговых центров управления с силами в море. Также в 60-х годах в институте был разработан и принят на вооружение ВМФ новый автоматизированный аппаратный комплекс СБД скрытной связи «Интеграл» (главный конструктор – М.И. Ветчинкин). Для уменьшения времени доставки коротких формализованных сообщений на ПЛ в комплексе максимально автоматизированы все основные процессы связи. Автоматизация связи позволила уменьшить время доставки информации на БПУ от ПЛ, находящихся в удаленных районах Мирового океана, в 10–15 раз и снизить психофизическую нагрузку на должностных лиц органов управления и операторов связи.

К концу 60-х годов разработанные НИИ ЭТУ и освоенные в производстве аппаратные комплексы СБД и БД связи с ПЛ по КВ и СДВ радиоканалам становятся технической основой системы дальней оперативной и тактической связи ВМФ. Комплексы устанавливаются практически на всех ПЛ и НК, а также на стационарных БПУ, приемных и передающих КВ и СДВ радиоканалах ВМФ. Научно-технический уровень комплексов соответствовал мировому, а в части СБД связи превосходил этот уровень. За разработку, освоение в серийном производстве и внедрение в эксплуатацию серии аппаратных комплексов дальней автоматизированной скрытной засекреченной радиосвязи ВМФ («Акула», «Быстрота», «Глубина», «Интеграл», «Дальность», «Невка») разработчикам была присуждена Государственная премия СССР. Лауреатами стали М.И. Ветчинкин, Ю.Г. Данилевский и В.С. Репин.

В целях создания глобальной системы связи с ПЛ и НК, в которой было заинтересовано командование ВМФ, в начале 1960-х годов были сделаны первые практические шаги по использованию нового вида радиосвязи – связи с использованием космических аппаратов. Для реализации преимуществ спутниковой связи, ее глобальности, высокой пропускной способности и достоверности, скрытности и помехозащищенности, по заданию флотского руководства НИИ ЭТУ были начаты работы по созданию оконечной аппаратуры ПЛ и НК для связи по спутниковым радиоканалам. С 1962 по 1977 год было разработано более шести типов спутниковой оконечной аппаратуры. Научно-технический уровень разработок оконечной аппаратуры спутниковой связи ВМФ превосходил мировой уровень. Разработку оконечной аппаратуры для связи с ПЛ и НК по спутниковым радиоканалам вели главные конструктора: Д.Л. Партин, Н.П. Федоров, А.А. Кудрявцев, Н.В. Чурилов, А.М. Корнеев и А.И. Серов.

Нахождение на борту РПК СН стратегического ядерного оружия неограниченного радиуса действия и огромной разрушительной силы выдвинуло перед командованием ВМФ новую государственную задачу – исключение возможности случайного или несанкционированного пуска ракет с РПК СН. Решение этой задачи в конце 60-х годов было поручено коллективу института. В результате проведения ОКР «Замок» (главный

конструктор В.И. Мирошников) и ОКР «Команда» (главный конструктор Ю.М. Петров) за короткий срок в НИИ ЭТУ был разработан автоматизированный комплекс аппаратуры, обеспечивающий надежную защиту от случайного и несанкционированного доступа к ракетному оружию и централизованную его разблокировку на РПК СН. Комплекс «Команда» создавался в тесном взаимодействии с проектантами и разработчиками РПК СН и ракетного ядерного оружия. Большое внимание и поддержку работам по созданию и размещению комплекса на ПЛ и береговых пунктах управления оказывали генеральный конструктор и начальник ЦКБ МТ «Рубин» И.Д. Спасский и генеральный конструктор РПК СН С.Н. Ковалев. Благодаря согласованным решениям и активной работе в сжатые сроки аппаратурой были оснащены все объекты управления и РПК СН различных проектов.

Использование аппаратного комплекса «Команда» решило проблему технической защиты и разблокировки ядерного оружия на РПК СН. Создание комплекса способствовало выполнению СССР соглашения с США о мерах по уменьшению опасности возникновения ядерной войны, подписанного 30 сентября 1971 года в Вашингтоне. Главные конструкторы и разработчики комплекса «Команда» от НИИ ЭТУ Ю.М. Петров и В.И. Мирошников стали лауреатами Государственной премии за создание специальных систем управления РПК СН.

В конце 60-х годов в НИИ автоматической аппаратуры (НИИ АА) под руководством академика В.С. Семенихина был развернут масштабный проект по созданию командной системы управления (КСУ) ВС, и, в первую очередь, стратегическими ядерными силами страны, находящимися в постоянной боевой готовности. На коллектив НИИ ЭТУ было возложено решение проблемы надежного доведения до РПК СН сигналов управления и оперативной командной информации, а также получение от них донесений о ее приеме. В это же время НИИ ЭТУ поручено создание аппаратуры автоматизированной связи и обмена данными для БПУ ВМФ и автоматизированных комплексов управления и обмена данными для ПЛ и НК. За успешное решение комплекса научно-технических проблем по созданию системы обмена данными (СОД) ЛНПО «Красная Заря» в 1980 году было награждено орденом Трудового Красного Знамени, а 170 разработчиков удостоены высоких правительственных наград. Также эти работы были удостоены Ленинской и Государственной премий. Лауреатами премий стали: Ю.Г. Данилевский (Ленинская премия); М.И. Ветчинкин, В.Х. Афанасьев, В.С. Шибанов, О.Н. Скосырев, А.А. Сизов (Государственные премии).

Еще одной проблемой, связанной с развитием подводного флота страны, стала передача на берег информации о чрезвычайных ситуациях и авариях на борту ПЛ. Для решения этой задачи в НИИ ЭТУ разработана аппаратура «Парис» (главный конструктор А.А. Лящук), которая находится на вооружении до настоящего времени.

Дальнейшее в 70-е и 80-е годы развитие системы связи и обмена данными БПУ с ПЛ и НК осуществлялось в направлении комплексного использования в СОД ВМФ каналов СДВ, КВ и УКВ-диапазонов, спутниковых каналов связи, повышения технико-эксплуатационных характеристик комплексов и применения международных стандартов связи. В сочетании с этим в институте проводились НИР и ОКР по внедрению в СОД ВМФ различных способов разнесенного приема и передачи, использованию обобщенных каскадных кодов, методов формализации сообщений, и главным образом, по алгоритмизации сетевого обмена данными береговых и морских объектов флота с использованием ЭВМ.

В результате проведения комплекса этих работ в начале 90-х годов на предприятии была разработана новая аппаратно-программная платформа для создания перспективной СОД ВМФ, в которой были использованы последние мировые достижения в области сетевого обмена и компьютерных технологий, программирования, системотехники и электроники. На ее основе было разработано и промышленно выпущено новое поколение автоматизированных аппаратно-программных комплексов для оснащения БПУ, передающих и приемных радиопередатчиков, ПЛ и НК ВМФ.

Также в 70-е и 80-е годы в институте уделяется внимание поиску способов и средств связи (и не только с использованием радио) с РПК СН, несущими боевое дежурство в оперативно-важных районах Мирового океана и имеющих техническую возможность длительного нахождения на больших глубинах без всплытий. Теоретические и экспериментальные исследования и разработки, проведенные совместно с 34 Институтом связи ВМФ, НИИ Академии наук и промышленности, показали, что новым специфическим видом передачи информации на глубоководные ПЛ является использование для этого диапазона сверхнизких частот (СНЧ). В 1976 году уникальная по своей конструкции СНЧ-радиостанция ВМФ и специальное приемное оборудование для вызова глубоководных ПЛ на связь с передачей им коротких формализованных сообщений были созданы большим коллективом военно-морских и гражданских научно-исследовательских и промышленных организаций. В этот период были проведены все виды государственных испытаний, и радиостанция поставлена на боевое дежурство. Данная СНЧ-радиостанция стала самостоятельным радиоканалом дальней оперативной связи с глубоководными РПК СН ВМФ, находящимися в северной Атлантике.

С 1994 года ПАО «Интелтех» становится головным предприятием по разработке автоматизированной командно-сигнальной системы связи и обмена данными ВМФ для систем управления силами ВМФ. На базе разработанных системообразующих береговых и бортовых аппаратно-программных комплексов средств автоматизации (КСА) связи была создана первая в стране автоматизированная СОД ВМФ БПУ с ПЛ и НК «Архипелаг» (главный конструктор – В.И. Мирошников). Аппаратно-программная платформа КСА СОД – вычислительная техника, системное и прикладное алгоритмическое и программное обеспечение, занимающее в сложности и стоимости производства изделий более 70 %. В системе применена сертифицированная в силовых ведомствах России операционная система реального времени. Главными конструкторами береговых и бортовых КСА СОД ВМФ были назначены: Ю.А. Мироненко (КСА ПЛ и НК «Терминал»), Н.А. Говоров (КСА узлов связи БПУ «Лимб-Б» и «Лимб-М»), Н.И. Боков (комплексы боевого управления ПЛ и НК), Г.А. Жуков (КСА «Лимб-ЦПС», «Лимб-ПРМ», коммутаторы каналов «Скат-М») и А.А. Кудрявцев (КСА станций спутниковой связи). В автоматизированной СОД ВМФ «Архипелаг» разработаны и реализованы протоколы сетевого обмена сообщениями, частотного, территориального и пространственного разнесения приема/передачи, автоматического формирования и формализации, адресования и помехоустойчивого кодирования сообщений. СОД ВМФ как подсистема управления ВС РФ принята на вооружение МО РФ в 2003 году, модернизируется и развивается в настоящее время. Действующая СОД ВМФ охватывает всю страну: береговые объекты связи находятся в Москве, Калининграде, Североморске, Севастополе, Владивостоке, Петропавловске-Камчатском, Хабаровске и других регионах России, а также на территориях зарубежных дружественных стран. В системе используются разработанные ПАО «Интелтех» КСА управления информационным обменом «Терминал» (ПЛ и НК) и «Лимб» (береговые объекты). В период сложных для России времен конца XX-го века ПАО «Интелтех» поддерживает функциональное и техническое состояние СОД ВМФ и, тем самым, обеспечивает ее боевую готовность и устойчивость управления МСЯС.

В начале 2000-х годов в рамках ОКР «Архипелаг» («Архипелаг-Д» – 1994–1999 г.г., «Архипелаг-Д1» – 1999–2008 г.г. и «Архипелаг-Д2» – 2008–2013 г.г.) продолжается развитие СОД ВМФ, переоснащаются и вооружаются комплексами «Терминал» и «Лимб» действующие и вновь строящиеся ПЛ, НК, а также береговые объекты связи ВМФ. Оборудование комплексов переводится на современную элементную базу и комплектующие, внедряются новые технологии производства и испытаний. Проводится гарантийное и сервисное обслуживание оборудования на объектах ВМФ. В 2005 году за разработку и внедрение в эксплуатацию автоматизированной СОД ВМФ «Архипелаг» в составе АСУ

силами ВМФ «Море» главные конструкторы КСА «Лимб» и «Терминал» для СОД ВМФ В.И. Мирошников, Ю.А. Мироненко и Н.А. Говоров стали лауреатами премии Правительства РФ в области науки и техники.

С 2005 года ПАО «Интелтех» совместно с АО «НИИ «Нептун» и ЗАО «Завод им. Г. Козицкого», а также другими организациями, входящими в вертикально интегрированную структуру ГК «Ростех», участвует в международных и отечественных выставках вооружений и военной техники, где экспонирует инновационные образцы оборудования для морских систем связи, представляя интересы ВМФ России. По предложению АО «Рособоронэкспорт» под руководством генерального директора Ю.Л. Николашина, первого заместителя генерального директора по научной работе предприятия И.А. Кулешова и заместителя генерального директора А.С. Буткевича проводятся переговоры с зарубежными поставщиками морского телекоммуникационного оборудования и комплектующих (Германия, Франция, Италия, Индия), разрабатываются технико-экономические предложения поставки модификаций военно-морской техники в зарубежные страны (Индия, Вьетнам, Алжир, Египет).

В 2003 году Федеральное агентство Минпрома и энергетики РФ предложило ОАО «Интелтех» совместно с ФГУП «РИМР» и под руководством ФГУП «СП МБМ «Малахит» участвовать в проекте достройки (в части вооружения средствами радиосвязи) атомной ПЛ ВМФ проекта 971И для ее последующей передачи в аренду ВМС Индии. На основании Указа Президента РФ и согласований с руководством Федеральной службы технического и экспортного контроля, МО и ВМФ в 2005 году предприятием разработан и получен Паспорт экспортного облика на «Аппаратуру автоматизированного приема и передачи БД и СБД связи» («Трасса-Э»), являющейся экспортной модификации СОД ВМФ. Аппаратура включает береговые и бортовые КСА информационного обмена БПУ с ПЛ в режимах БД и СБД связи по СДВ и КВ радиоканалам. Для обеспечения обязательной защиты интеллектуальной собственности, содержащейся в аппаратно-программных комплексах, ПАО «Интелтех» получены Свидетельства на программы для ЭВМ в составе комплексов. В ОАО «Интелтех» разработаны и прошли все виды испытаний экспортные модификации бортовых АКС «Трасса-Э» для АКС ПЛ «Молния-Э» (ФГУП «РИМР»). В 2012 году российская атомная ПЛ с 4-мя комплектами бортовых комплексов аппаратуры «Трасса-Э» достроена, прошла все виды испытаний и передана индийским ВМС. Под руководством генерального директора Ю.Л. Николашина в работах по предконтрактной подготовке, производству и поставке комплексов «Трасса-Э» на АПЛ принимали участие сотрудники НТЦ-3 Ю.А. Мироненко, С.А. Гавриленко, Н.И. Боков, Н.А. Говоров, С.Б. Росин, С.А. Сахаров, В.В. Фитцов, С.В. Потапов, В.И. Талагаев и ряд других руководителей подразделений и специалистов. В 2010 году по предложению Минпромторга РФ на конкурсной основе МО РФ привлекает ПАО «Интелтех» к предконтрактной подготовке создания интегрированной российско-французской системы связи (ИСС) для двух десантно-вертолетных кораблей доков (ДВКД) класса «Мистраль», строящихся для ВМФ России во Франции на верфи STX (г. Сен-Назер, Бискайский залив) под руководством французской компании *DCNS*. В готовящихся материалах контракта на строительство кораблей предусматривалось строительство в России еще двух ДВКД по технологиям, которые передаст России французская сторона. ДВКД «Мистраль» представляет собой морскую платформу, несущую боевые вертолеты и четыре легких корабля для высадки на берег до 450 человек морской пехоты и бронетехники. Межправительственное соглашение по строительству во Франции кораблей этого класса объяснялось в прессе острой необходимостью защиты морских рубежей страны, участия России со странами НАТО в гуманитарных, спасательных и антитеррористических операциях.

Проектантом и организатором работ по постройке ДВКД являлась французская компания *DCNS* (г. Париж), а по созданию ИСС корабля – французская компания *THALES* (г. Париж), комплектующая ИСС европейским радиооборудованием с системой управления

связью «Partner» по стандартам НАТО. С международной компанией *TALES*, ПАО «Интелтех» проводил совместные работы по созданию ИСС в части производства и поставки российского радиооборудования и его сопряжения с французским радиооборудованием кораблей. В результате переговоров и технических консультаций в ПАО «Интелтех» и в офисах *DCNS* с участием представителей компании *THALES*, ВМФ и ОАО «Рособоронэкспорт» согласованы спецификация российско-французского радиооборудования ИСС и его размещение на ДВКД.

В 2011 году на основе договоренностей, достигнутых на этапе предконтрактной подготовки, между компанией *DCNS* и АО «Рособоронэкспорт» подписан Контракт на строительство во Франции двух кораблей и передачу технологий их производства для постройки еще двух аналогичных кораблей на российских верфях. Их строительство предполагалось вести на Балтийском судостроительном заводе в Санкт-Петербурге, поскольку завод получил французские технологии, и был привлечен компанией *DCNS* к постройке кормовых частей для ДВКД, строящихся во Франции. Кормовые части были построены заводом и отбуксированы из Санкт-Петербурга на судовой верфь *STX*, где использованы при достройке двух кораблей.

В этом же году Постановлением Правительства РФ ПАО «Интелтех» назначено головным предприятием по проектированию российско-французской ИСС для двух строящихся во Франции ДВКД, производству российского радиооборудования, сопряжению российских и французских радиосредств, по проведению испытаний и вводу их в эксплуатацию. Также предприятию поручено принять французские технологии производства ИСС в учебных центрах Франции и на стенде предприятия еще для двух ДВКД, планируемых к постройке на верфях в России. Работы по созданию и настройке российско-французской ИСС ДВКД проводились на специально созданном в ПАО «Интелтех» стенде, на стендах французской компании *THALES* и на верфи *STX*. В составе российского ИСС находился макет бортового АКС «Терминал», т. к. планировалось, что после прибытия кораблей в Россию на них будет установлена российская канальная засекречивающая аппаратура связи и действующие АКС «Терминал» СОД ВМФ.

В 2013 году ДВКД были построены, прошли все виды морских испытаний в Северной Атлантике, два экипажа российских моряков прошли обучение во Франции, корабли зарегистрированы в морском регистре как «Владивосток» и «Севастополь», а экипажи готовились встретить Новый 2014 год на Родине. Также в 2013 году группа специалистов ПАО «Интелтех» прошла обучение в учебных центрах во Франции по устройству и технологиям производства французского, а по существу, европейского радиооборудования ИСС ДВКД, по специальным программам. Сотрудники получили сертификаты и комплекты документов на французское оборудование связи ИСС, что соответствовало положениям Контракта о передаче технологий производства ИСС ДВКД.

Проект создания российско-французской ИСС ДВКД для ВМФ России выполнялся под руководством генерального директора ПАО «Интелтех» Ю.Л. Николашина, персонально участвующего в российско-французских переговорах и технических консультациях в России и Франции, в спуске кораблей на воду. К реализации проекта были привлечены коллективы специалистов лучших российских организаций-производителей морского связного радиооборудования, и большая группа сотрудников ПАО «Интелтех», возглавляемая руководителем Дирекции проекта заместителем генерального директора А.С. Буткевичем, ранее проходившим службу в Управлении связи ВМФ. Большой объем переговоров, сложных организационных и технических работ по реализации проекта в России и Франции, по производству и монтажу оборудования на ДВКД, его испытаний и вводу в эксплуатацию совместно с представителями ВМФ выполнили сотрудники предприятия: Н.И. Лычагин, А.В. Суслов, А.Н. Плохотнюк, Д.Н. Тырин, В.С. Харитонов, В.В. Фитцов, М.И. Переходник, А.В. Родин, С.Г. Голощапов, Д.А. Щедрин, А.С. Гузарев и ряд других специалистов

предприятия. Начиная с этапа предконтрактной подготовки, прием французских делегаций и рабочих групп в ПАО «Интелтех», информационное сопровождение проекта, переговоры и технические консультации, их документальное оформление, письменные и устные переводы, командирование специалистов за границу обеспечивали сотрудники отдела внешних связей В.И. Талагаев, Т.О. Шевченко, Д.А. Шаутин, Д.В. Лебедев, С.В. Макаров.

В связи с обострением военно-политической обстановки в мире Франция отказалась передать ДВКД России, выплатив неустойку, и в 2014 году под руководством представителей ВМФ и АО «Рособоронэкспорт» сотрудниками ПАО «Интелтех», совместно с французскими специалистами российское радиооборудование, входящее в состав ИСС, демонтировано с двух ДВКД и вывезено из Франции на корабле ВМФ в г. Выборг. В общей сложности было вывезено 325 ящиков с оборудованием.

За время работы по Проекту создания ИСС для ДВКД класса «Мистраль» в интересах ВМФ России ОАО «Интелтех» и его сотрудники получили неоценимый опыт участия в крупном международном проекте по импорту вооружений и проведению совместных работ с зарубежными компаниями. Специалисты предприятия, особенно молодые, прошли этапы предконтрактной подготовки проекта, работ по созданию ИСС ДВКД с французской системой управления связью «Партнер», обучение в ведущих учебных центрах Франции, ознакомились с организацией и современными технологиями производства сложных высокоавтоматизированных радиотехнических систем морского базирования. Полученный специалистами ПАО «Интелтех» опыт полезен для дальнейших работ по производству автоматизированных систем, комплексов и средств связи для МО и ВМФ России, главным образом в области системного проектирования, создания современных аппаратно-программных комплексов и организации работ.

С 2011 года ПАО «Интелтех» организует и развивает новые направления работ: проводятся системные исследования, создаются научно-технические и технологические заделы для выполнения государственных заказов по развитию СОД ВМФ, повышению уровня автоматизации процессов связи и управления, улучшению ТТХ оборудования и созданию перспективной инновационной техники. Ведутся проектные работы по созданию АКС ПЛ и НК, а также по модернизации действующих узлов и центров связи ВМФ. Важное значение придается взаимодействию с руководством и разработчиками ракетного вооружения и систем управления ПЛ и НК ВМФ. С 2014 года ПАО «Интелтех» проводит комплексное перевооружение научно-технической и производственной базы предприятия, строятся новые производственные здания, по направлениям работ создаются настроечные и испытательные стенды, автоматизируются процессы управления предприятием, оборудуются современной оргтехникой рабочие места, специалисты проходят обучение на курсах повышения квалификации и др.

В рамках ОКР «Архипелаг» в ПАО «Интелтех» ведутся работы по созданию береговой мобильной компоненты СОД ВМФ, разрабатывается бортовой АКС для спроектированной и строящейся ОАО «СП МБМ «Малахит» АПЛ по заказу ВМФ, разрабатываются новые унифицированные АКС для ПЛ и НК. За более чем 65 лет проведения в ПАО «Интелтех» НИОКР и производства оборудования связи для ВМФ у руководителей и сотрудников ПАО «Интелтех» складывались деловые и личные дружеские отношения с командованием ВМФ, начальниками управления связи и военными служащими управления, с начальниками центров и узлов связи ВМФ и флотскими связистами, с сотрудниками НИИ и учебных институтов ВМФ.

В разные годы в ПАО «Интелтех» работали, делились флотским опытом и внесли большой вклад в создание средств связи для ВМФ более 50-ти офицеров связистов, прошедших военную службу на флоте, в НИИ и учебных заведениях ВМФ и ВС РФ. С 2009 года по 2014 год в ПАО «Интелтех» работал вице-адмирал А.Г. Долбня, в 2001-2015 годах трудился контр-адмирал В.И. Попов, капитаны 1 ранга С.Н. Рогушин,

А.Н. Плохотнюк, А.Н. Савченко и др. В настоящее время в ПАО «Интелтех» на ответственных должностях работают контр-адмирал В.П. Соколов, капитаны первого ранга и полковники М.П. Ларкин, С.А. Гавриленко, А.С. Буткевич, В.П. Захаров, Ю.В. Мельник, И.Н. Фатюхин, В.В. Киман, С.М. Куртов, С.А. Солозобов, Ю.Ф. Махортов, С.Н. Елкин, В.В. Кошкин, Д.Н. Тырин, В.В. Давыдчик, В.П. Кучер-Денисенко, К.В. Латников, В.К. Гайдуков, П.А. Будко, В.В. Дыков, А.А. Густов и ряд других офицеров, преданных делу связи флота. Общая история, преемственность поколений и опыт многолетней совместной работы ПАО «Интелтех» и Службы связи флота – надежная основа дальнейшего развития автоматизированной системы связи и обмена данными ВМФ России.

ПАО «Интелтех» поздравляет Службу связи ВМФ и всех связистов флота со знаменательным событием – 110-ой годовщиной со дня образования и настроено на дальнейшее плодотворное сотрудничество.

Creating of a command communication and communication subsystem Navy Force and equipment control system

Nikolashin Y.L., Miroshnikov V.I.

***Annotation.** The article contains the main milestones in the history of PJSC "Inteltech," from the opening of telephone factory by L.M. Erikson in St. Petersburg in 1898 to the present days. The events in the country and the world, which influenced the creation and production of communication facilities for the Russian fleet, are reflected. It is told about the formation and development of the enterprise and direct ties with the Fleet Communication Service, on the orders of which radio communication equipment was created with ships and submarines during various historical periods. The evolution of several generations of telegraph and data transmission equipment has been shown, as a result of which a modern automated system of communication and data exchange with submarines and surface ships has been created, which is the most important subsystem of the command system of control forces and facilities of the Navy. The article also presents managers, chief designers, leading scientists and specialists of the enterprise, who have made a significant contribution to the research, development, industrial production and introduction of the Navy communication and data exchange system on the fleet.*

***Keywords:** enterprise history, enterprise managers, leading designers and specialists, telegraph, data transmission, naval radio communication technique, data exchange subsystem of the Navy Forces and Means Management Command System.*

Статья поступила 03 июня 2019 г.

Информация об авторах

Николашин Юрий Львович – Генеральный директор ПАО «Интелтех». Кандидат технических наук.
Мирошников Валентин Иванович – Генеральный конструктор ПАО «Интелтех». Доктор технических наук, профессор.

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

Тлф.: +7(812)295-66-66. E-mail: intelteh@inteltech.ru.

Information about Authors

Nikolashin Yriy L'vovich – General Director of PJSC «Inteltech». Doctorate of Technical Sciences.
Miroshnikov Valentin Ivanovich – Chief Designer of PJSC «Inteltech». Doctor of Technical Sciences, professor.

Address: 197342, Russia, Saint-Petersburg, Kantemirovskaya, 8. Phone: 8(812)295-66-66.
E-mail: intelteh@inteltech.ru.

Для цитирования: Николашин Ю.Л., Мирошников В.И. Создание подсистемы связи и обмена данными командной системы управления силами и средствами ВМФ // Техника средств связи. 2019. № 4 (148). С. 2-10.

For citation: Nikolashin Y.L., Miroshnikov V.I. Creating of a command communication and communication subsystem Navy Force and equipment control system // Means of communication equipment. 2019. № 4 (148). P. 2-10. (In Russian).

К 100-ЛЕТИЮ ВОЙСК СВЯЗИ

УДК 355/359

**История разработки и производства в ПАО «Интелтех»
оборудования для войск связи Вооруженных сил России**

Кулешов И.А., Талагаев В.И.

***Аннотация.** В работе приведены основные вехи становления и развития ПАО «Интелтех» начиная с создания в 1898 году в Санкт-Петербурге Телефонной фабрики Л.М. Эриксона до наших дней. С учетом военно-политических условий в стране и мире рассказано об истории промышленного производства средств связи военного и гражданского назначения, о возникающих проблемах и задачах, стоящих перед предприятием в различные периоды его исторического развития. Приведены основные образцы военной продукции и технологии ее производства. Представлены главные конструкторы аппаратуры, выдающиеся ученые и инженеры предприятия, внесшие существенный вклад в ее разработку и производство. Приведен пример разработки современного оборудования декаметрового радиосвязи для Главного управления связи ВС РФ.*

***Ключевые слова:** войска связи; история становления ПАО «Интелтех»; влияние исторических событий; телефонная, телеграфная и фототелеграфная связь; радиосвязь; передача данных; системы обмена данными.*

На всем протяжении своего исторического развития, начиная с открытия в 1898 году в Санкт-Петербурге телефонной фабрики Л.М. Эриксона, ПАО «Интелтех» активно участвует в производстве техники связи для Вооруженных сил (ВС) России.

В первую мировую войну потребности армии в средствах управления войсками вызвали рост промышленного производства телефонной и телеграфной аппаратуры. Ведущее место принадлежало петроградским предприятиям «Эриксон», «Гейслер» и «Сименс». Лидером отрасли стала фабрика Эриксона с удельным весом среди военно-полевых телефонов 94 % и 82,3 % среди коммутаторов.

В 1920-е годы проблемой для Красной армии стало многообразие типов военно-полевых телефонных аппаратов. К середине 1920-х годов телефонный завод «Красная Заря», образованный на базе национализированной в 1918 году фабрики Эриксона, стал промышленной базой для производства унифицированных полевых телефонов УНА, принятых на вооружение войск связи Красной армии. С телефонами УНА-Ф-31 и УНА-И-31 Красная армия вступила в Великую Отечественную войну (ВОВ). В 1930-е годы на заводе «Красная Заря» началось серийное производство военных телефонных коммутаторов Р-60 для внутренней телефонной связи штабов армии и фронта и коммутатора Р-20 для штабов корпуса и дивизии, батальонных телефонных станций и коммутаторов «Спецсвязь», предназначенных для связи огневых точек укрепрайона. С 1938 года на заводе налажен серийный выпуск инверторных устройств засекречивания телефонных переговоров «ЕС», которые использовались для организации закрытой связи на всем протяжении ВОВ. В 1935-1937 годах был создан комплекс аппаратуры дальней связи между войсковыми соединениями КДС-35, в который входила аппаратура высокочастотного (ВЧ) телефонирования ВЧТ-1. Для засекреченной связи крупных войсковых штабов по дальним телефонным и телеграфным линиям к 1940 году заводом выпущены и приняты на вооружение армии мощные телефонные аппараты серии ТАМ.

С начала ВОВ на оборудовании, вывезенном из Ленинграда с завода «Красная Заря» в Уфу и Москву, для фронта выпускались: станции многоканального и высокочастотного телефонирования, усовершенствованные коммутаторы ПК-10 и ПК-30, телефонные полевые и стационарные аппараты, аппаратура маскировки телефонных переговоров «Синица», «Сойка» и «Стриж», комплекты телеграфной связи Бодо, телефонные комплектующие и другие изделия связного оборудования.

Восстановление завода «Красная Заря» в Ленинграде и выпуск продукции начались в 1944 году с разработки новых телефонных и фототелеграфных аппаратов, автоматических телефонных коммутаторов, аппаратуры дальней магистральной связи и тонального телеграфирования. В 1947-1949 годах разработана и запущена в серийное производство отечественная аппаратура тонального телеграфирования с частотной модуляцией ТТ-ЧМ-12/16, позволяющая по одному высокочастотному телефонному каналу образовать 12 или 16 телеграфных двусторонних каналов.

Постановлением СМ СССР от 4 ноября 1952 г. (год образования ПАО «Интелтех») на базе завода «Красная Заря» организован НИИ фототелеграфной и специальной техники с опытным заводом. В 50-х годах на нем были сконцентрированы все ведущие в СССР НИОКР в области фототелеграфии. Была создана линейка фототелеграфной аппаратуры для магистральных связей «Аврал», «Арагва», фототелеграфные аппараты «Арфа», «Призма» и «Фотон». В 1957 году разработаны симплексные фототелеграфные аппараты «Нева» (ФТА-М2) и ФТА-П. Передача информации осуществлялась по каналам ВЧ телефонирования и по КВ радиоканалам.

В 1958-1961 годах в институте разработан четырёхканальный блок тонального телеграфирования «Веер-Д» для полевых условий эксплуатации и серийно выпускается полевой комплекс вторичного уплотнения каналов П-318, ставший основой сетей связи МО СССР. По заказу ПВО страны в 1959-1962 годах институтом создана первая в СССР аппаратура передачи данных (АПД) «Аракс», предназначенная для передачи данных по каналам ТЧ кабельных и радиорелейных линий и по физическим линиям связи. В последующие годы институтом создана линейка АПД различного назначения, в первую очередь, в интересах ВС. Приказом МРП СССР от 24 марта 1966 года НИИ фототелеграфной техники переименован в НИИ электротехнических устройств (НИИ ЭТУ) главной задачей которого стало создание АПД. Комплексы АПД, разработанные НИИ ЭТУ, обеспечили создание первых в стране автоматизированных систем управления на базе ЭВМ, как военного, так и гражданского назначения. В 60-х годах по заказам Управления связи ВМФ институтом разрабатывается и выпускается несколько типов аппаратуры быстродействующей (БД) и сверхбыстродействующей (СБД) связи береговых командных пунктов (БКП) с ПЛ и НК ВМФ по КВ и СДВ радиоканалам. Аппаратура становится технической основой системы дальней оперативной и тактической связи и обмена данными ВМФ. С 1970 года НИИ ЭТУ участвует в создании АСУ ВС в части разработки и производства оборудования для системы автоматизированного обмена данными (СОД) БКП с ПЛ стратегического назначения.

В 1994-2003 годы технические решения, алгоритмические и программные продукты, разработанные в процессе создания средств БД и СБД КВ и СДВ радиосвязи с ПЛ и НК, а также новая аппаратно-программная платформа использованы при проектировании и создании комплексов средств автоматизации (КСА) связи для СОД ВМФ. СОД является важнейшей подсистемой АСУ силами и средствами ВС РФ. До настоящего времени она находится на боевом дежурстве, обеспечивая высоконадежный обмен командной информацией БКП с ПЛ и НК в режимах БД («берег-море») и СБД («море-берег»). В СОД реализованы протоколы сетевого обмена, методы частотного и пространственного разнесения передачи/приема, дублирования передачи сообщений, помехоустойчивого канального кодирования и другие современные методы повышения оперативности, надежности и безопасности связи. Системообразующие компоненты СОД: береговые КСА связи для БКП, передающих и приемных КВ радиоцентров, коммутаторы каналов «Скат-М» для береговых узлов связи и КСА радиосвязи для ПЛ и НК. С 2004 года ПАО «Интелтех» в рамках ОКР и авторского надзора ведет переоснащение БКП, ПЛ и НК усовершенствованными КСА связи и их гарантийное обслуживание.

На принципиально новой аппаратно-программной платформе институтом в 1974-1986 гг. создан комплекс цифровых АТС дальней засекреченной связи ВС «Броня» для автоматизированной системы телефонной связи между объектами ВС по каналам ТЧ,

защищённой аппаратурой «Интерьер». В конце восьмидесятых годов разработана и введена в эксплуатацию первая в стране автоматизированная система связи «Р-1», единая для всех видов ВС в стратегическом и оперативно-тактическом звеньях управления. Комплекс послужил основой для создания автоматизированной системы телефонной связи ВС «Памир» (1978-1990 годы).

В 2001-2006 годах важным научно-техническим достижением ПАО «Интелтех» явилось создание по заказам ГУС ВС функционального ряда коммутационного оборудования для цифровой автоматизированной сети конфиденциальной телефонной связи и обмена документальной информацией в стационарном и полевом исполнении. Оборудование предназначено для построения сетей, предоставляющих мультисервисные услуги должностным лицам пунктов управления по защищенному обмену данными, речевой и графической информацией, а также услуги конференц- и видеоконференцсвязи. Оборудование состоит из базовых, унифицированных по составу и функциям комплексов программно-технических средств для узлов связи командных пунктов, штабов всех уровней, полевых аппаратных и надводных кораблей, комплектов для удаленных мобильных абонентов.

В число последних разработок ПАО «Интелтех» в интересах Главного управления связи ВС входит создание линейки цифрового оборудования, реализующего современные методы сетевого управления, передачи и обработки мультимедийной информации с интеграцией в транспортной среде разнородных средств электрической проводной и оптоволоконной связи, а также радиосвязи. Оборудование предназначено для оснащения стационарных и мобильных объектов объединенной автоматизированной цифровой интегрированной системы связи ВС и обеспечения оперативного информационного взаимодействия должностных лиц всех уровней управления ВС России. Опытные образцы оборудования будут поставлены предприятием для испытаний в составе средств связи опытного района автоматизированной системы радиосвязи ВС дециметрового диапазона.

На рис. 1 приведен вариант распределенной региональной сети связи на базе разработанных в ПАО «Интелтех» многофункциональных интегрированных комплексов связи (МИКС). Конструктивное исполнение опытных образцов терминального и коммутационного оборудования показано для объектовой сети связи (рис. 2) и мобильной полевой компоненты (рис. 3).

В настоящее время в ПАО «Интелтех» выполняет государственные оборонные заказы по развитию системы связи и обмена данными ВМФ, сетей и средств связи сухопутных войск ВС, НИОКР по повышению уровня автоматизации процессов связи и интеллектуализации управления связью, улучшению ТТХ оборудования. Завершаются работы по созданию интегрированных цифровых комплексов связи, которые планируется устанавливать на строящиеся и модернизируемые ПЛ и НК.

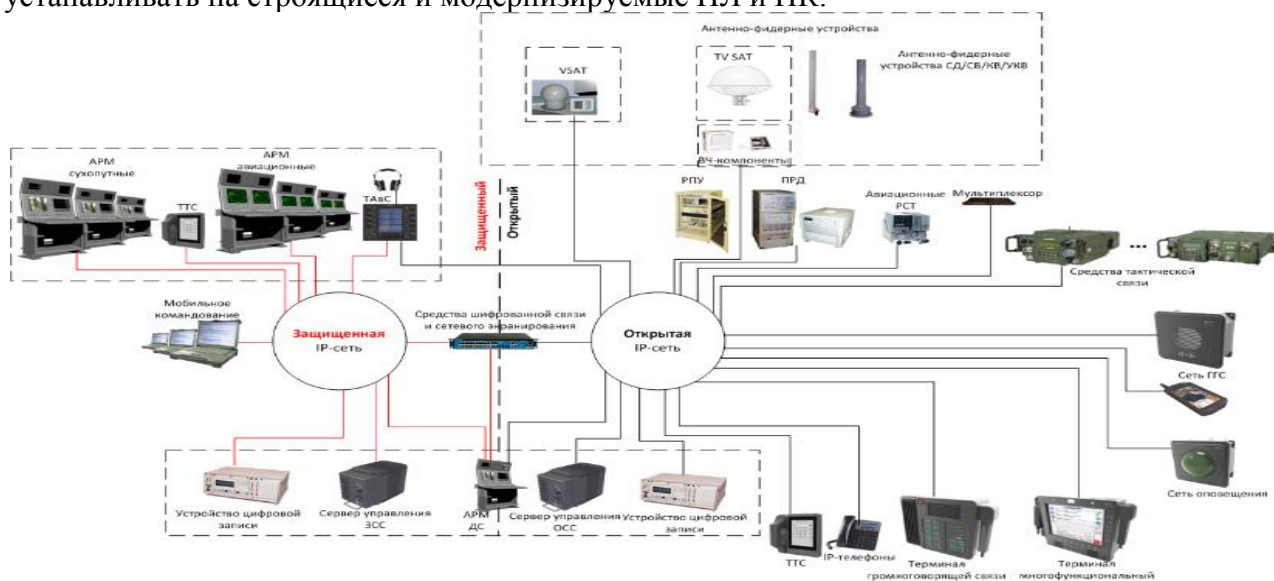


Рис. 1. Структурная схема сети и состав оборудования МИКС



Рис. 2. Объектовое терминальное оборудование МИКС



Рис. 3. Сетевое коммутационное оборудование МИКС для стационарных объектов и мобильных аппаратных

Важными факторами эффективной деятельности ПАО «Интелтех» на всех этапах его развития является использование при разработке и производстве оборудования связи для ВС России собственных результатов интеллектуальной деятельности и адаптация передовых зарубежных информационных и телекоммуникационных технологий.

History of development and production in PJSC "Inteltech" of equipment for communication troops of the Russian Armed Forces

I.A. Kuleshov, V.I. Talagaev

***Annotation.** The work contains the main milestones of formation and development of PJSC "Inteltech" from the creation in 1898 in St. Petersburg of the Telephone Factory by L.M. Erikson to the present days. Taking into account the military-political conditions in the country and the world, the history of industrial production of communication means for military and civil purposes, the emerging problems and tasks facing the enterprise during various periods of its historical development has been told. The main samples of military products and technology of its production are given. The main designers of the equipment, outstanding scientists and engineers of the enterprise, who have made a significant contribution to its development and production, are presented. An example of the development of modern radio communication DCM equipment for the GCS of the Armed Forces of the Russian Federation is given.*

***Keywords:** communication troops, history of formation of PJSC "Inteltech", influence of historical events, telephone, telegraph and phototelegraph communication, radio communication, data transmission, data exchange systems.*

Статья поступила 10 июня 2019 г.

Информация об авторах

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

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

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

Тел: +7(812)295-50-69. E-mail: intelteh@inteltech.ru.

Information about Authors

Kuleshov Igor Alexandrovich - First Deputy General Director of PJSC «Inteltech» for Scientific Work. Doctor of Technical Sciences, Associate Professor.

Talagaev Vladimir Ivanovich – Leading Researcher of PJSC «Inteltech». Doctorate of Technical Sciences, Senior Researcher, Professor AVN.

Address: 197342, Russia, Saint-Petersburg, Kantemirovskaya,8. Tel. +7(812)295-50-69. E-mail: intelteh@inteltech.ru.

Для цитирования: Кулешов И.А., Талагаев В.И. История разработки и производства в ПАО «Интелтех» оборудования для войск связи Вооруженных сил России // Техника средств связи. 2019. № 4 (148). С. 11-14.

For citation: Kuleshov I.A., Talagaev V.I. History of development and production in PJSC "Inteltech" of equipment for communication troops of the Russian Armed Forces // Means of communication equipment. 2019. № 4 (148). P. 11-14.(InRussian).

ПЕРЕДАЧА, ПРИЕМ И ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ

УДК 621.39

**Фрактальные алгоритмы многопользовательского детектирования
«плотных» ансамблей сигналов**

Бобровский В.И.

Аннотация. Одной из наиболее важных проблем подвижной связи, использующей технологии радиointерфейсов на основе CDMA и OFDM, является возможность применения частотно эффективной системы линейно зависимых сигналов, передаваемых в одном частотно-временном интервале при наличии переходных помех. Решение данной проблемы связано с разработкой практически приемлемых алгоритмов многопользовательского детектирования, что позволит существенно повысить такие взаимосвязанные параметры системы связи, как пропускную способность, абонентскую емкость, информационную скорость передачи. Оптимальный прием групповой сигнальной конструкции имеет экспоненциальную зависимость вычислительного ресурса от величины группового символа, что в реальных системах подвижной связи приводит к значительному повышению вычислительной сложности алгоритмов многопользовательского детектирования и ограничивает его практическое применение. Существующие подходы к построению практически приемлемых алгоритмов многопользовательского детектирования малоэффективны или имеют существенные недостатки, ограничивающие их практическое применение. Причиной этого служит неразрешенное противоречие между повышением удельной информационной скорости передачи «плотных» ансамблей сигналов и не экспоненциальным ростом вычислительной сложности алгоритмов их многопользовательского детектирования. В работе показано, что в соответствии с компенсационным подходом к синтезу алгоритмов многопользовательского детектирования, формирование границ оценок информационных параметров «плотных» ансамблей, образованных путем аддитивного объединения одномерных многопозиционных сигналов и аддитивных ансамблей двоичных сигналов, можно строить на основе алгебраических фракталов. При этом границы областей принятия решения «плотных» ансамблей можно строить на основе соответствующих границ аддитивных ансамблей двоичных сигналов, что позволит существенно снизить их вычислительную сложность.

Ключевые слова: система подвижной связи, многопользовательское детектирование, алгоритмы приема сигналов, области принятия решения, границы принятия решения, границы оценки информационных параметров помехоустойчивость, фракталы, кодовое разделение сигналов, мультиплексирование с ортогональным частотным разделением каналов, вычислительная сложность алгоритмов.

Введение

Как известно, одним из подходов, применяемым для повышения эффективности функционирования систем подвижной связи (СПС), при использовании множественного доступа с кодовым разделением (CDMA), а также мультиплексирования с ортогональным частотным разделением каналов (OFDM), является многопользовательское детектирование (МПД) частотно-эффективной системы «плотного» ансамбля сигналов, передаваемых в одном частотно-временном интервале при наличии переходных помех.

Очевидно, что повышение удельной скорости R/F (где R – информационная скорость, F – занимаемая полоса частот) группового ансамбля сигналов передачи приводит к увеличению пропускной способности канала радиодоступа на физическом уровне ЭМВОС. Считается, что в случае выполнения $R/F > 1$ сигналы, составляющие групповой ансамбль становятся линейно зависимыми. В работе [1] такие ансамбли сигналов названы «плотными».

Одной из проблем МПД «плотного» ансамбля сигналов является преодоление экспоненциальной зависимости роста сложности алгоритмов МПД от числа детектируемых двоичных сигналов. Данная проблема может быть решена на основе представления алгоритмов МПД в виде алгебраических фракталов.

В [2] показано, что разрешение проблемы снижения вычислительной сложности алгоритмов МПД основано на эффективном построении границ оценок информационных параметров детектируемых цифровых сигналов. Поэтому в работе построение алгоритмов МПД основано на компенсационном подходе [3].

Впервые в компенсационном виде были синтезированы алгоритмы оптимального МПД по критерию минимум вероятности ошибки на символ пользователя Бураченко Д.Л. [3]. В [3] также представлены в компенсационном виде линейно-компенсационные алгоритмы Агеева Д.В. Данное представление было выполнено с целью оценки их потенциальной помехоустойчивости для сравнительного анализа.

В соответствии с компенсационным принципом алгоритм представляется в виде схемы формирования откликов корреляторов с последующей их обработкой, формированием так называемых компенсирующих структур и вычитанием последних из соответствующих откликов корреляторов. На основании полученной разности производится оценка символов пользователей [3].

Рассмотрим принципы компенсационного подхода применительно к настоящей работе. Формально представим в компенсационном виде алгоритм МПД в соответствии с критерием минимума вероятности ошибки на групповой символ ($\min P_e$).

В формализованном виде критерий оптимальности $\min P_e$ можно записать:

$$\min_{Y_r^*} P_e = \max_{Y_r^*} p(r = r^* / \mathbf{y}), \quad (1)$$

где Y_r^* – область пространства наблюдений на выходе банка корреляторов, соответствующая групповому информационному параметру $r = r^*$.

В соответствии с (1) оптимальная область наблюдений примет вид:

$$Y_{0,r^*} = \{\mathbf{y} : \max_r p(r / \mathbf{y}) = p(r^* / \mathbf{y})\}. \quad (2)$$

Поскольку в соответствии с постановкой задачи нас интересует информационный параметр определенного пользователя, то (1) трансформируется следующим образом.

$$\sum_{r(r_i^*)} \min_{Y_{r(r_i^*)}} P_e[r(r_i^*)] = \sum_{r(r_i^*)} \max_{Y_{r(r_i^*)}} p[r(r_i^*) / \mathbf{y}], \quad (3)$$

где $r(r_i^*) \triangleq (r_1, r_2, \dots, r_i = r_i^*, \dots, r_K)$ – групповой символ с $r_i = r_i^* = \{0,1\}$; K – число детектируемых символов; $Y_{r(r_i^*)}$ – область пространства наблюдений на выходе банка корреляторов, соответствующая групповому информационному параметру $r^*(r_i^*)$.

Из (3) следует, что оптимальная область наблюдений примет вид:

$$Y_{0,r^*(r_i^*)} = \{\mathbf{y} : \max_{r(r_i^*)} \sum_{r(r_i^*)} p[r(r_i^*) / \mathbf{y}] = \sum_{r(r_i^*)} p[r^*(r_i^*) / \mathbf{y}]\}. \quad (4)$$

В соответствии с компенсационным принципом построения алгоритмов МПД на основании (3) с учетом (4) правило оценивания двоичных символов запишется в виде:

$$\mathbf{r}^* = \text{rect} \{ \mathbf{y} - \mathbf{g} \}, \quad (5)$$

где

$$\text{rect}(x) = \begin{cases} 1, & x \geq 0 \\ 0, & x < 0 \end{cases} \text{ – функция принятия решения,} \quad (6)$$

$\mathbf{r}^* \triangleq (r_1, r_2, \dots, r_K)^T$ – вектор информационных параметров сигналов;

$\mathbf{y} \triangleq (y_1, y_2, \dots, y_K)^T$ – вектор откликов корреляторов (вектор наблюдений), где $y_i \triangleq (\mathbf{y}, \hat{\mathbf{s}}_i)$;

$\hat{\mathbf{s}}_i = (\sqrt{E_i})^{-1} \mathbf{s}_i, i = 1, \dots, K$ – нормированный i -ый двоичный цифровой сигнал.

Как следует из формального представления в компенсационном виде алгоритма МПД (5), основной задачей является формирование вектора границы оценки информационного параметра (ГОИП) \mathbf{g} : $\mathbf{g} \triangleq (g_1, g_2, \dots, g_K)^T, g_i \triangleq g_i(\mathbf{y}) = g_i[(y_1, y_2, \dots, y_K)^T]$ – вектор оптимальных ГОИП, определяемых на основе (4).

Отличие (5) от соответствующей формальной записи компенсационного алгоритма МПД, представленной в [3], заключается в том, что отклики корреляторов (согласованных фильтров) формировались путем свертки наблюдения y с ненормированным опорным сигналом s_i .

Как показано в [2], синтез компенсационного алгоритма оптимального МПД по критерию $\min P_e$ традиционным способом дает ГОИП, требующую для своего вычисления известных информационных параметров (ИП) мешающих сигналов, которые в действительности неизвестны. Таким образом, синтез алгоритма оптимального МПД в соответствии с критерием $\min P_e$ традиционным способом невозможен.

Решение данной проблемы возможно на основе фрактального представления алгоритмов МПД двоичных сигналов.

Формальное представление фрактального алгоритма МПД

Для определения фрактала воспользуемся формулировкой, данной Мандельбротом, которая звучит так: «Фракталом называется структура, состоящая из частей, которые в каком-то смысле подобны целому» [4].

Фракталы делят на геометрические, алгебраические и стохастические¹.

Фракталы, рассмотренные в данной работе, относятся к алгебраическим. Для построения алгебраических фракталов используются итерации нелинейных отображений, задаваемых простыми алгебраическими формулами.

Покажем, что применительно к компенсационным алгоритмам детектирования цифровых сигналов алгоритм построения границы оценки информационных параметров сигнала может быть представлен алгебраическим фракталом. Для удобства будем пользоваться описанием сигналов в векторном виде в евклидовом пространстве сигналов.

Сделаем несколько определений.

n -мерным будем называть пространство, в котором можно найти n линейно независимых элементов, а любые $n+1$ элементы – линейно зависимы.

Прямой в n -мерном пространстве будем называть множество точек, задаваемых параметрическим уравнением в векторном виде:

$$\mathbf{x} = \mathbf{x}_0 + \mathbf{a} t, \quad (7)$$

где $\mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T$ – вектор произвольной точки прямой; $\mathbf{x}_0 = (x_{01}, x_{02}, \dots, x_{0n})^T$ – вектор начальной точки прямой; $\mathbf{a} = (a_1, a_2, \dots, a_n)^T$ – направляющий вектор прямой; t – параметр.

n -мерной плоскостью в m -мерном пространстве ($m \geq n$) будем называть множество точек, задаваемых параметрическим уравнением в векторном виде [5]:

$$\mathbf{x} = \mathbf{x}_0 + a_1 t_1 + a_2 t_2 + \dots + a_n t_n, \quad (m \geq n), \quad (8)$$

где $\mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_m)^T$ – вектор произвольной точки n -мерной плоскости; $\mathbf{x}_0 = (x_{01}, x_{02}, \dots, x_{0m})^T$ – вектор начальной точки n -мерной плоскости; $\{\mathbf{a}_i = (a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{im})^T, i = 1 \dots n\}$ – множество неколлинеарных ненулевых векторов; $\{t_i, i = 1 \dots n\}$ – множество параметров.

Информационный параметр сигнала – параметр сигнала, значения которого соответствуют символу, передаваемому от источника к получателю посредством данного сигнала.

Неинформационные параметры сигнала – параметры, характеризующие форму сигнала и не связанные с передаваемой сигналом пользовательской информацией.

Граница оценки информационных параметров – граница, разделяющая области оценивания передаваемых двоичных символов: «0» и «1».

Линии стыков n -мерной ГОИП – множество точек, лежащих на пересечении $(n-1)$ -мерных плоскостей, принадлежащих ГОИП.

¹ Существуют и другие классификационные признаки, однако к данной работе они не имеют отношения.

² (7) является частным случаем (8). Для пространства сигналов любой размерности одномерная плоскость есть прямая.

Линии стыков n -мерной ГОИП по i -ой оси – такие линии стыков n -мерной ГОИП, которые вызваны неортогональностью направляющего вектора i -ой оси и направляющего вектора оси детектируемого двоичного сигнала в n -мерном пространстве.

Аддитивным ансамблем цифровых сигналов (ЦС) называется групповой сигнал, образованный в результате их аддитивного объединения [3].

Базисом аддитивного ансамбля линейно независимых двоичных одномерных сигналов будем называть векторы, соответствующие этим сигналам, при условии передачи каждым из них информационного параметра «0».

Введем следующие обозначения.

\mathfrak{R}^v – аддитивный ансамбль v двоичных ЦС, на который действует аддитивная помеха \mathbf{n} :

$$\mathfrak{R}^v \triangleq \mathbf{s}(r) + \mathbf{n}; \quad (9)$$

$\mathbf{y}^v \triangleq (y_{\alpha_1}, y_{\alpha_2}, \dots, y_{\alpha_v})^T$ – вектор откликов банка корреляторов (согласованных фильтров),

где $\alpha_i, i = 1 \dots v$, – индексная переменная; $\mathbf{s}_{\alpha_i} \in \mathfrak{R}^v$;

отклик i -го коррелятора:

$$y_i \triangleq \sum_{k=1}^v (\mathbf{s}_k(r_k), \hat{\mathbf{s}}_i) + n_i; \quad (10)$$

i -й отсчет вектора шума:

$$n_i \triangleq (\mathbf{n}_i, \hat{\mathbf{s}}_i); \quad (11)$$

$r_i = \{0,1\}, i = 1, \dots, n$, – двоичный символ (информационный параметр), переносимый i -м цифровым сигналом;

$r_i^* = \{0,1\}, i = 1, \dots, n$, – оценка информационного параметра r_i i -го ЦС;

$r = \{r_i, i - \text{индекс } \mathbf{s}_i(r_i) \in \mathfrak{R}^v\}$ – групповой символ аддитивного ансамбля, состоящего из v двоичных ЦС;

$r(r_i')$ – групповой символ r , в котором двоичный символ r_i имеет определенное значение r_i' , остальные $r_k, k - \text{индекс } \mathbf{s}_i(r_i) \in \mathfrak{R}^v; k \neq i$, не определены.

$\mathbf{s}_i(r_i)$ – вектор двоичного сигнала ³ i -го пользователя при условии, что переносимый им ИП равен r_i ($\mathbf{s}_i(r_i=0)$ и $\mathbf{s}_i(r_i=1)$ – эквидистантные противоположные вектора);

$\mathbf{s}_i, \|\mathbf{s}_i\| \triangleq \sqrt{(\mathbf{s}_i, \mathbf{s}_i)}$ – соответственно вектор несущего колебания сигнала i -го пользователя и его норма;

$\hat{\mathbf{s}}_i \triangleq \mathbf{s}_i / \|\mathbf{s}_i\|$ – вектор нормированного несущего колебания сигнала i -го пользователя;

$E_i(r_i) \triangleq \|\mathbf{s}_i(r_i)\|^2$ – энергия сигнала $\mathbf{s}_i(r_i)$, равная по определению квадрату нормы его вектора;

$E_{ij} \triangleq (\mathbf{s}_i, \mathbf{s}_j)$ – взаимная энергия сигналов \mathbf{s}_i и \mathbf{s}_j , равная по определению их скалярному произведению;

$\rho_{ij} \triangleq (\mathbf{s}_i, \mathbf{s}_j) / (\|\mathbf{s}_i\| \|\mathbf{s}_j\|)$ – коэффициент взаимной неортогональности сигналов \mathbf{s}_i и \mathbf{s}_j ;

i, j – индексы, для которых $\mathbf{s}_i, \mathbf{s}_j \in \mathfrak{R}^v$;

$\mathbf{E}^v \triangleq [E_{ij}, i, j - \text{индексы, для которых } \mathbf{s}_i, \mathbf{s}_j \in \mathfrak{R}^v]$ – матрица Грама;

$\boldsymbol{\rho} \triangleq [\rho_{ij}, i, j - \text{индексы, для которых } \mathbf{s}_i, \mathbf{s}_j \in \mathfrak{R}^v]$ – нормализованная матрица Грама (матрица коэффициентов взаимной неортогональности сигналов);

$\mathbf{E}_i^v \triangleq [E_{ij}, i, j - \text{индексы, для которых } \mathbf{s}_i, \mathbf{s}_j \in \mathfrak{R}^v, j \neq i]^T$ – вектор взаимных энергий сигнала \mathbf{s}_i с другими несущими сигналами ансамбля \mathfrak{R}^v ;

\mathbf{n} – вектор аддитивной случайной помехи;

$\mathbf{s}(r) \triangleq \sum_{i=1}^v \mathbf{s}_i(r_i)$ – вектор результирующего сигнала;

$$g_i^v \triangleq g_i[\mathfrak{R}^v] = g_i(\{y_{kz}, z = 1 \dots v-1\}), \quad (12)$$

³ В целях сокращения записей в дальнейшем слово «вектор» будем опускать.

⁴ Так как в работе рассматриваются только двоичные эквидистантные противоположные ЦС, то $E_i(r_i=0) = E_i(r_i=1) \triangleq E_i$.

где $k_z = 1, \dots, K, k_z \neq j, k_z \neq i, i = 1, \dots, K, j = 1, \dots, K, v$ – число двоичных сигналов; i – индекс ЦС (один из v), для которого строится ГОИП; j – индекс ЦС результирующей ГОИП; (12) – ГОИП i -го ЦС, разделяющая области оценки информационного параметра i -го ЦС: $r_i^* = 0$ и $r_i^* = 1$ при приеме ансамбля \mathfrak{R}^v ; $g_{j_i}^1[\mathfrak{R}^v], g_{j_i}^2[\mathfrak{R}^v]$ – проекции линий стыков $(v+1)$ -мерной ГОИП j -го ЦС по i -й оси v -мерной плоскости, образованной сигналами ансамбля \mathfrak{R}^v (j -й сигнал не принадлежит ансамблю \mathfrak{R}^v).

Ограничения:

1) Сигналы ансамбля \mathfrak{R}^v являются эквидистантными противоположными двоичными сигналами произвольной конечной энергии.

2) ГОИП состоит из набора однородных поверхностей, соединенных линиями стыков, каждая из которых соответствует одной паре сигнальных точек с разным детектируемым двоичным символом.

3) Помеха \mathbf{n} задана плотностью распределения вероятности $w_n(\mathbf{y}^v)$ с нулевым средним, симметричной относительно произвольной гиперплоскости пространства $v+1$, проходящей через начало координат и перпендикулярной векторам $\{s_i, i\text{-индекс } s_i \in \mathfrak{R}^v\}$.

В случае детектирования j -го двоичного символа v -мерный групповой сигнал условно можно разделить на две подгруппы, состоящие из сигнальных точек (СТ), соответствующих $r(r_j=0)$ и $r(r_j=1), j=1, \dots, K$. Применительно к случаю, представленному на рис. 1а, подгруппа, объединяющая СТ, соответствующие $r(r_1=0)$, включает точки $\{00, 01\}$, а подгруппа из СТ с $r(r_1=1)$ – точки $\{10, 11\}$. Пусть области оценки информационного параметра j -го двоичного сигнала разделены ГОИП g_j^v (на рис. 1, а $v=2$). Евклидово пространство сигналов, содержащее групповой сигнал, обозначим Ω .

Предположим, что к существующему ансамблю сигналов добавляется еще один, ортогональный сигналам данного ансамбля (см. рис. 1, б). Области оценки информационного параметра j -го двоичного сигнала в этом случае будут разделены ГОИП g_j^{v+1} (на рис. 1, б – g_j^3). Изломы данной ГОИП будут отсутствовать в виду ортогональности добавляемого сигнала. При учете ограничения (3) кривые, образованные в результате пересечения g_j^{v+1} с гиперплоскостями, параллельными гиперплоскости Ω^5 , будут совпадать с g_j^v .

Далее, если нарушить ортогональность добавленного сигнала к одному из сигналов, лежащих в гиперплоскости Ω , учитывая ограничение (2), однородность ГОИП g_j^{v+1} нарушится. В этом случае она будет иметь два излома, и состоять из трех однородных поверхностей. Изломы, вызванные неортогональностью выделяемого (j -го) сигнала и одного из сигналов, составляющих групповой ансамбль (к примеру, k -го сигнала), будем называть изломами ГОИП j -го сигнала в направлении k -го сигнала ⁶.

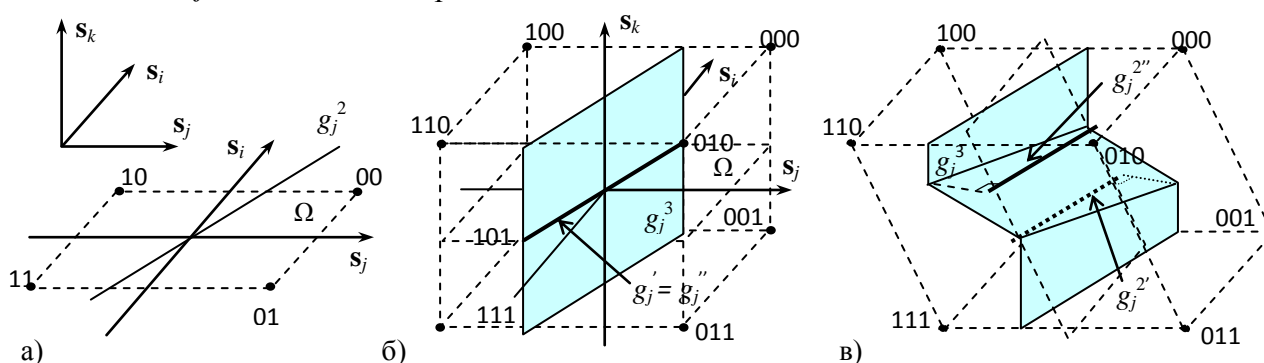


Рис. 1. Геометрическая иллюстрация видоизменения ГОИП j -го ЦС с ФМ-2 при нарушении ортогональности к: а) i -му ЦС в двумерном; б) i -му и k -му ЦС в трехмерном; в) i -му и k -му ЦС в четырехмерном пространстве

⁵ В [6] отмечается, что понятия пространство и плоскость являются родственными.

⁶ Если k -ый сигнал совпадает с направляющим вектором оси евклидова пространства, уместно говорить о изломах ГОИП в направлении его k -ой оси.

Проекции данных изломов на гиперплоскость, образованную ансамблем сигналов, не включающим детектируемый (j -ый) сигнал, разделяют области определения ГОИП g_j^{v+1} детектируемого сигнала. В случае неортогональности детектируемого сигнала более чем к одному двоичному противоположному сигналу группового ансамбля будут появляться изломы j -ой ГОИП в направлении каждого неортогонального j -му сигнала. При этом число однородных поверхностей g_j^{v+1} , а, следовательно, и областей их определения, будет равным 3^v . Выявив соответствие однородного участка ГОИП g_j^{v+1} , в зависимости от области его определения, на которую, в свою очередь, указывает вектор наблюдения y^v , можно построить g_j^{v+1} во всей области ее определения.

Предположим, что проекции изломов ГОИП g_j^{v+1} , определяющие область ее определения, можно построить на основании ГОИП $\{g_{ki}^v, i=1, \dots, v, k_i \neq j\}$. Каждую g_{ki}^v можно определить на основании $\{g_{zi}^{v-1}, i=1, \dots, v-1, z_i \neq k_i \neq j\}$ и т. д.. Из чего следует, что для построения ГОИП g_j^K требуется определить всевозможные ГОИП для ансамблей с числом сигналов $1 \leq v \leq K$.

Учитывая вышеизложенное, на основании [2] формально алгоритм построения g_j^K , $j = 1, \dots, K$, можно представить следующим образом.

1) Всевозможные одномерные ГОИП формально можно представить как

$$g_i^1 = \arg\{w(y_i/r_i = 0) = w(y_i/r_i = 1)\}, i = 1, \dots, K, i \neq j, \quad (13a)$$

где $w(y_i/r_i)$ – плотность распределения вероятности отклика i -го коррелятора (согласованного фильтра) y_i при условии, что передавался символ r_i .

2) Формально двумерные ГОИП в соответствии с приведенным выше предположением о возможности построения v -мерных ГОИП g_{ki}^v на основе $(v-1)$ -мерных ГОИП g_{zi}^{v-1} , $i = 1 \dots v-1$, можно представить в виде

$$g_i^2 = \mathfrak{f}(g_k^1, y_k), i, k = 1, \dots, K, i \neq j, k \neq j, i \neq k, \quad (13б)$$

где \mathfrak{f} – функционал, позволяющий, во-первых, по ГОИП, размерность которых на единицу меньше размерности формируемой ГОИП, найти область определения одной из 3^z (в общем случае, z – размерность формируемой ГОИП) однородных поверхностей, во-вторых, определить значение данной однородной поверхности в зависимости от значений откликов корреляторов $y_k, k = 1, \dots, z$.

. . .

v) Представление v -мерных ГОИП по аналогии с (13a) и (13б) будет выглядеть следующим образом:

$$g_i^v = \mathfrak{f}(\{g_{kl}^{v-1}, y_{kl}, l=1, \dots, v-1\}), i, k_l = 1, \dots, K, i \neq j, k_l \neq j, i \neq k_l. \quad (13в)$$

В соответствии с (13в) K -мерная ГОИП запишется в виде

$$g_j^K = \mathfrak{f}(\{g_{kl}^{K-1}, y_{kl}, l=1, \dots, K-1\}), k_l = 1, \dots, K, k_l \neq j. \quad (13г)$$

На основании (13) можно заключить следующее.

Алгоритм формирования результирующей ГОИП g_j^K основан на алгоритмах формирования ГОИП $\{g_{kl}^{K-1}, l = 1, \dots, K-1\}$, которые порядком построения подобны g_j^K в соответствии с принятым критерием и различаются только размерностью пространства сигналов, в котором они строятся. Построение каждой из $g_{kl}^{K-1}, l = 1, \dots, K-1$, основано, в свою очередь, на ГОИП $\{g_{ql}^{K-2}, l = 1, \dots, K-2\}$, которые порядком построения подобны g_j^K и g_{kl}^{K-1} , и т. д.

Таким образом, из вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

1) Алгоритм формирования g_j^K можно разбить на части, подобные целому. В соответствии с приведенным выше определением фрактала, данным Мандельбротом, алгоритм формирования ГОИП g_j^K , формально представленный (13), является **алгебраическим фракталом**. Учитывая, что ГОИП фактически определяет компенсационный алгоритм МПД, уместно его назвать фрактальным, а метод построения алгоритмов (13) – методом построения фрактальных алгоритмов МПД.

2) Если $g_i[\mathcal{R}^v]$ и $g_j[\mathcal{R}^{v+1}]$ – оптимальные по критерию минимума вероятности ошибки на групповой символ ГОИП i -го и j -го цифровых сигналов соответственно, причем j -й сигнал не принадлежит ансамблю \mathcal{R}^v , то для определения проекций $g'_{j_i}[\mathcal{R}^v]$ и $g''_{j_i}[\mathcal{R}^v]$ линий стыков ГОИП $g_j[\mathcal{R}^{v+1}]$ по i -й оси ансамбля сигналов \mathcal{R}^{v+1} на плоскость, образованную базисом ансамбля \mathcal{R}^v , достаточно известных ГОИП $\{g_i[\mathcal{R}^v], i – индекс, для которого $s_i \in \mathcal{R}^v\}$, энергии j -го сигнала и коэффициентов его неортогональности с сигналами, принадлежащими \mathcal{R}^v .$

3) Абсолютная величина смещения проекции $g'_{j_i}[\mathcal{R}^v]$ (или $g''_{j_i}[\mathcal{R}^v]$) по i -й оси относительно ГОИП $g_i[\mathcal{R}^v]$ равна $\|s_j\| \rho_{ij}$.

4) Если вектор откликов банка корреляторов y^v по осям $\eta = 0, \dots, v$ евклидова пространства сигналов \mathcal{R}^v принадлежит центральным областям определения ГОИП $g_j[\mathcal{R}^{v+1}]$, а по остальным $v-\eta$ осям данного пространства принадлежит боковым областям определения данной ГОИП, то численное значение ГОИП $g_j[\mathcal{R}^{v+1}]$ определяется по формуле

$$g_j[\mathcal{R}^{v+1}] = \frac{1}{\sqrt{E_j}} \left(\sum_{i=1}^n k_j^v(\alpha_i) \sqrt{E_{\alpha_i}} y_{\alpha_i} - \sum_{i=1}^{\eta} \sum_{k=\eta+1}^v k_j^v(\alpha_i) u_j^v(\alpha_k) E_{\alpha_i \alpha_k} + \sum_{i=1}^{v-\eta} u_j^v(\alpha_i) E_{\alpha_i} \right), \quad (14a)$$

где

$$k_j^v(i) \triangleq \begin{cases} 0, & \mathbf{y} \in \tilde{\mathcal{S}}_{j_i}^v, \tilde{\mathcal{S}}_{j_i}^v, \\ \text{sign}(g'_{j_i}[\mathcal{R}^v] - g''_{j_i}[\mathcal{R}^v]), & \mathbf{y} \in \mathcal{S}_{j_i}^v, \end{cases} \quad u_j^v(i) \triangleq \begin{cases} -1, & \mathbf{y}^v \in \tilde{\mathcal{S}}_{j_i}^v, \\ 1, & \mathbf{y}^v \in \tilde{\mathcal{S}}_{j_i}^v, \\ 0, & \mathbf{y}^v \in \mathcal{S}_{j_i}^v, \end{cases} \quad (14б)$$

$\tilde{\mathcal{S}}_{j_i}^v, \mathcal{S}_{j_i}^v, \tilde{\mathcal{S}}_{j_i}^v$ – левая, средняя и правая области соответственно, образуемые проекциями линий стыков v -мерной ГОИП по i -й оси пространства сигналов ее построения; j – индекс; $s_j \in \mathcal{R}^{v+1}$, $s_j \notin \mathcal{R}^v, j \neq \alpha_i$; α_i – индекс, $i = 1, \dots, v$; $s_{\alpha_i} \in \mathcal{R}^v$.

Формирование оптимальных по критерию минимума вероятности ошибки на групповой символ ГОИП на основе фракталов

Из вышеизложенного следует, что (14) позволяет строить ГОИП $g_j[\mathcal{R}^N]$, $j=1, \dots, N$ в N -мерном евклидовом пространстве, в каждой точке которой значения плотностей вероятности распределения информационных параметров $r_j=0$ и $r_j=1$ равны:

$$w(r(r_j=0)) = w(r(r_j=1)), \text{ где } r(r_j=0) \triangleq (r_1, r_2, \dots, r_i=0, \dots, r_N)^T.$$

Такая ГОИП состоит из примыкающих друг к другу гиперплоскостей, перпендикулярных отрезкам, концы которых соединяют ближайшие сигнальные точки, соответствующие групповым символам: $r(r_j=0)$ и $r(r_j=1)$, и делит эти отрезки пополам в случае равенства априорных вероятностей $p(r_i)$, $i = 1, \dots, N$.

В случае реализации критерия минимум вероятности ошибки на групповой символ ($\min P_e$) при действии принятых ограничений на плотность аддитивной помехи оптимальные области приема группового символа также будут отделяться друг от друга примыкающими гиперплоскостями, которые также перпендикулярны отрезкам, соединяющим концы ближайших сигнальных точек, и делят их пополам.

Таким образом, ГОИП при детектировании j -го сигнала будет совпадать с оптимальными по критерию $\min P_e$ границами, разделяющими области принятия решения по информационному параметру r_j (см. рис. 2).

Необходимо отметить, что из-за наличия переменных верхних пределов суммирования выражение (14) несколько неудобно для практических расчетов, а также при подсчете вычислительной сложности ГОИП. Поэтому преобразуем (14) к виду, у которого верхние пределы сумм не будут зависеть от того, каким областям определения ГОИП принадлежит вектор откликов корреляторов y , а также не нужно отслеживать соотношение между верхними и нижними пределами данных сумм. Для этого переопределим коэффициенты $k_j^v(i)$ и $u_j^v(i)$.

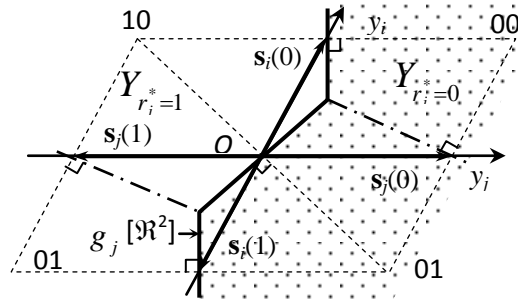


Рис. 2. Расположение областей принятия решения при выделении r_j^* в соответствии с критерием $\min P_e$

Учитывая то, что суммирование первой суммы ведется по $i = 1, \dots, \eta$ для $\mathbf{y}^v \in \mathfrak{S}_{j_i}^v$, то

$$k_j^v(i) \triangleq \begin{cases} 0, & \mathbf{y} \in \tilde{\mathfrak{S}}_{j_i}^v, \tilde{\mathfrak{S}}_{j_i}^v \\ \text{sign}(g_{j_i}^v[\mathfrak{R}^v] - g_{j_i}^v[\mathfrak{R}^v]), & \mathbf{y} \in \mathfrak{S}_{j_i}^v, \end{cases} \text{ где } \text{sign}(x) = \begin{cases} -1, & x < 0 \\ 1, & \text{иначе} \end{cases}. \quad (15)$$

Так как суммирование третьей суммы ведется по $i = 1, \dots, v - \eta$, соответствующему $\mathbf{y}^v \in \tilde{\mathfrak{S}}_{j_i}^v, \tilde{\mathfrak{S}}_{j_i}^v$, то

$$u_j^v(i) \triangleq \begin{cases} -1, & \mathbf{y}^v \in \tilde{\mathfrak{S}}_{j_i}^v \\ 1, & \mathbf{y}^v \in \tilde{\mathfrak{S}}_{j_i}^v \\ 0, & \mathbf{y}^v \in \mathfrak{S}_{j_i}^v \end{cases}. \quad (16)$$

Слагаемые E_{ij} второй суммы соответствуют таким индексам i и j , для которых $\mathbf{y}^v \in \tilde{\mathfrak{S}}_{j_i}^v, \tilde{\mathfrak{S}}_{j_i}^v \cap \mathbf{y}^v \in \mathfrak{S}_{j_k}^v$ или $\mathbf{y}^v \in \mathfrak{S}_{j_i}^v \cap \mathbf{y}^v \in \tilde{\mathfrak{S}}_{j_k}^v, \tilde{\mathfrak{S}}_{j_k}^v$, то коэффициентами данных слагаемых являются

$$\mu_j^v(i, k) \triangleq (k_j^v(i) + k_j^v(k)) \oplus (u_j^v(i) + u_j^v(k)), \quad (17)$$

где $(x+y) \oplus$ – суммирование x и y по модулю 2.

Используя (15) – (17) выражение (14) переписывается в виде:

$$g_j^{v+1} = \frac{1}{\sqrt{E_j}} \left(\sum_{i=1}^v k_j^v(i) \sqrt{E_i} y_i - \sum_{i=1}^{v-1} \sum_{k=i+1}^v \mu_j^v(i, k) E_{i_k} + \sum_{i=1}^v u_j^v(i) E_{i_j} \right), \quad (18)$$

где $v = 1, \dots, N-1, j = 1, \dots, v+1, i = 1, \dots, v, i \neq j, g_j^1$ – с точностью до индекса определяется (13а).

Если номера сигналов в ансамбле \mathfrak{R}^v произвольные, с чем на практике приходится считаться, то (18) примет вид

$$g_j^{v+1} = \frac{1}{\sqrt{E_j}} \left(\sum_{i=1}^v k_j^v(\alpha_i) \sqrt{E_{\alpha_i}} y_{\alpha_i} - \sum_{i=1}^{v-1} \sum_{k=i+1}^v \mu_j^v(\alpha_i, \alpha_k) E_{\alpha_i \alpha_k} + \sum_{i=1}^v u_j^v(\alpha_i) E_{\alpha_i j} \right), \quad (19)$$

где $v = 1, \dots, N-1, j =$ индекс $\mathbf{s}_j \in \mathfrak{R}^{v+1}, i = 1, \dots, v, \alpha_i =$ индекс $\mathbf{s}_{\alpha_i} \in \mathfrak{R}^v, \alpha_i \neq j, g_j^1$ – с точностью до индекса определяется (13а).

На рис. 3а и 4 представлены области определения ГОИП третьего и четвертого сигналов при оптимальном по критерию минимум вероятности ошибки на групповой символ детектировании соответственно трех и четырех неортогональных сигналов.

Для каждого из представленных случаев области разделены проекциями линий стыков g_i^v и g_i^v при сдвигах ГОИП $g_i^v, v = \{2, 3\}; i = \{1, 2, 3\}$.

В соответствии с областями определения ГОИП третьего сигнала, показанными на рис. 3, а, на рис. 3, б представлена фрактальная ГОИП g_3^3 в случае МПД 3-х равнонеортогональных сигналов.

Иллюстрация на рис. 3 подтверждает приведенное выше заключения о том, что ГОИП в рамках соответствующей области ее построения имеет вид гиперплоскости, а также, что число таких гиперплоскостей экспоненциально растет с увеличением числа разделяемых сигналов.

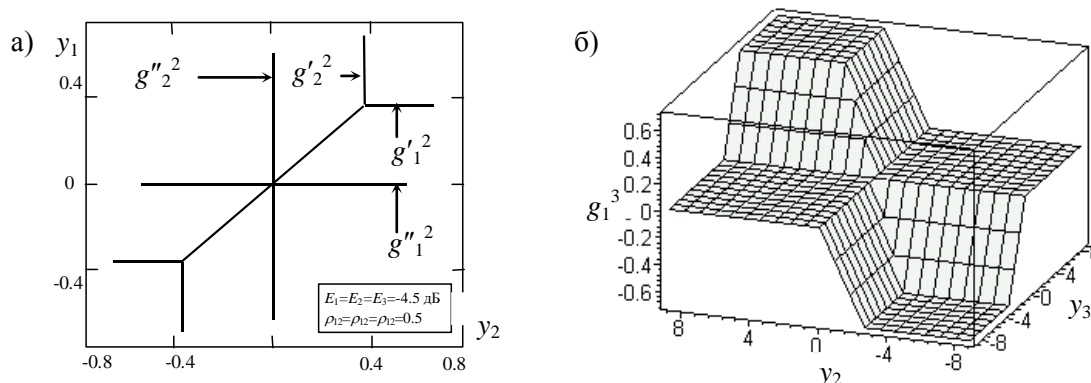


Рис. 3. Детектирование трех равнеортогональных сигналов ($E_i = -4.5$ дБ; $\rho_{ij} = 0.5$; $i, j = 1, \dots, 3$; $i \neq j$): а) области построения ГОИП; б) ГОИП первого сигнала

Таким образом, в подтверждение вышеизложенного, как видно из рис. 3 и 4, важной задачей при формировании ГОИП детектируемого сигнала, определяющей вычислительную сложность алгоритма МПД, является определение области, в которой ГОИП имеет вид гиперплоскости.

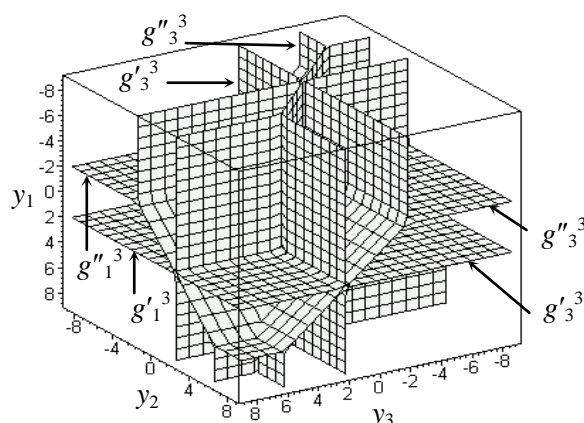


Рис. 4. Области построения ГОИП четвертого из четырех детектируемых неортогональных сигналов ($E_i = -4.5$ дБ; $\rho_{ij} = 0.5$; $i, j = 1, \dots, 4$; $i \neq j$)

Вызывает интерес сравнение синтезированных алгоритмов с алгоритмами оптимального разделения неортогональных сигналов в соответствии с критерием минимум вероятности ошибки на бит, представленными в монографии [3].

Оба алгоритма являются компенсационными. Их общие представления имеют вид (5) для алгоритма оптимального разделения неортогональных сигналов в соответствии с критерием минимум вероятности ошибки на бит ($\min P_{bi}$) и минимум вероятности ошибки на групповой символ ($\min P_e$) для фрактальных алгоритмов. Главным отличием фрактальных алгоритмов от алгоритмов [3] является способ формирования ГОИП g_i^N и, как следствие, их вид. На рис. 5 представлены ГОИП для известного [3] и синтезированного (14) алгоритмов детектирования первого, при мешающих втором и третьем неортогональных сигналах на фоне АБГШ. Для построения графика на рис. 5, б (14) была преобразована в соответствии с исходными данными, используемыми для алгоритмов в [3]: учтено, что опорные сигналы корреляторов в соответствии с принятыми обозначениями имеют вид s_i , а не \hat{S}_i , $i=1, \dots, N$, а также учтена необходимость оценки дисперсии гауссовского шума. С учетом этого для построения графиков на рис. 5 использовались следующие исходные данные: $E_1/N_0 = E_3/N_0 = 0$ дБ; $E_2/N_0 = -6$ дБ; $\rho_{12} = \rho_{13} = 0.5$; $\rho_{23} = -0.5$, где N_0 – односторонняя спектральная плотность мощности АБГШ.

Из рис. 5 видно, что компенсирующая структура, построенная в соответствии с (14), аппроксимирует оптимальную по критерию минимум вероятности ошибки на бит структуру, строящуюся на основании алгоритмов, предложенных в [3]. Анализ сравниваемых алгоритмов показывает, что с увеличением отношения сигнал/шум (ОСШ), а также числа разделяемых сигналов форма последней стремительно приближается к форме фрактальной ГОИП, построенной в соответствии с алгоритмом (14). Отличие практически исчезает при ОСШ детектируемого сигнала 1,5 дБ и более. Таким образом, в большинстве практических случаев многопользовательское детектирование по критерию минимум вероятности ошибки на бит и групповой символ не имеет существенных отличий.

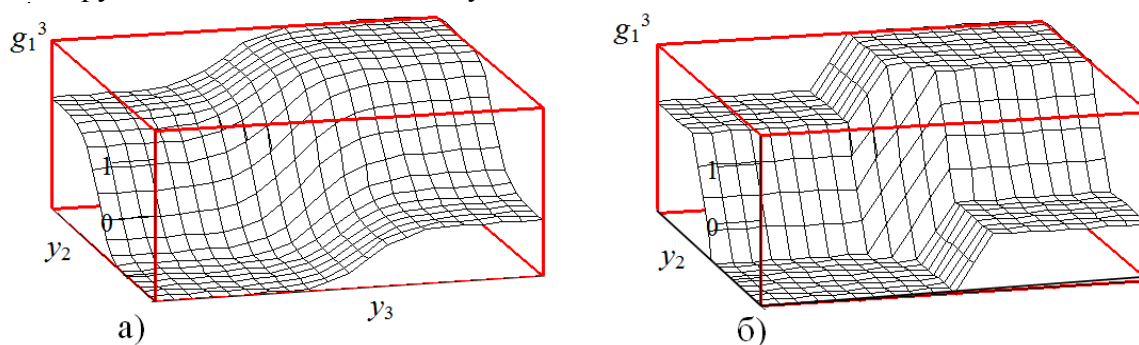


Рис. 5. Границы оценки информационного параметра первого из трех неортогональных сигналов:
 а) алгоритма оптимального МПД по критерию минимум вероятности ошибки на бит [2];
 б) фрактального алгоритма МПД (критерий минимум вероятности ошибки на групповой символ)

Результаты исследований, представленные ниже, получены в предположении, что «плотный» ансамбль сигналов на входе многопользовательского детектора образуется в результате аддитивного объединения многопозиционных одномерных сигналов с нумерацией сигнальных точек в натуральном манипуляционном коде. Каждый одномерный сигнал может быть образован передатчиком одного пользователя либо быть результатом аддитивного объединения одномерных сигналов нескольких пользователей. Возможность такого представления основано на построении проекций сигналов пользователей на выбранную ось опорного сигнала при условии применения быстрой регулировки мощности и когерентного приема.

Групповой сигнал на входе МПД сформирован в результате аддитивного объединения N 2^{D_j} -ичных одномерных сигналов, сформированных на основе соответствующих кодовых структур. 2^{D_j} -ичный одномерный сигнал образован в результате аддитивного объединения D_j двоичных эквидистантных сигналов с отношениями мощностей $\{(t_{vk}^{(j)})^2 \triangleq E_v^{(j)} / E_k^{(j)}; v, k=1, \dots, D_j; v \leq k; j = 1, \dots, N\}$. Будем полагать, что сигналы с меньшим номером, например, j -ой компенсирующей структуры, $j=1, \dots, N$ имеют большую мощность по отношению ко всем сигналам j -ой компенсирующей структуры, номер которых больше.

Будем также учитывать следующие допущения. Сопутствующие параметры входного сигнала будем считать известными. Априорные вероятности передачи двоичных символов равны или не определены.

На рис. 6 представлена сигнальная конструкция, образованная в результате аддитивного объединения трех двоичных сигналов на основе кодовой структуры $s^{(i)}$ и двух двоичных сигналов на основе кодовой структуры $s^{(j)}$. Из данного рисунка видно, что как образованные таким образом одномерные многопозиционные сигналы $s^{(i)}(r^{(i)})$ и $s^{(j)}(r^{(j)})$, так двумерная конструкция в целом имеют натуральный манипуляционный код.

Гиперплоскости, разделяющие области оценки ИП, учитывая ограничения, наложенные на помеху, и равные априорные вероятности передачи двоичных символов, должны быть перпендикулярны прямым, проходящим через сигнальные точки, и пересекают

их посередине. Таким образом, элементарные ГОИП на стыках ячеек принятия решения будут совпадать. Это видно на рис. 6, применительно к описанной выше сигнальной конструкции, объединяющей двоичные разномоштные сигналы кодовых структур $s^{(i)}$ и $s^{(j)}$.

На рис. 7 представлены ГОИП при выделении $r_2^{(i)}$ и $r_2^{(j)}$, совпадающие с границами разделения областей оценки информационных параметров, соответствующих оценке второго двоичного символа. Для построения данных границ необходимо определить, воспользовавшись алгоритмом (19) применительно к плотному ансамблю сигналов [2].

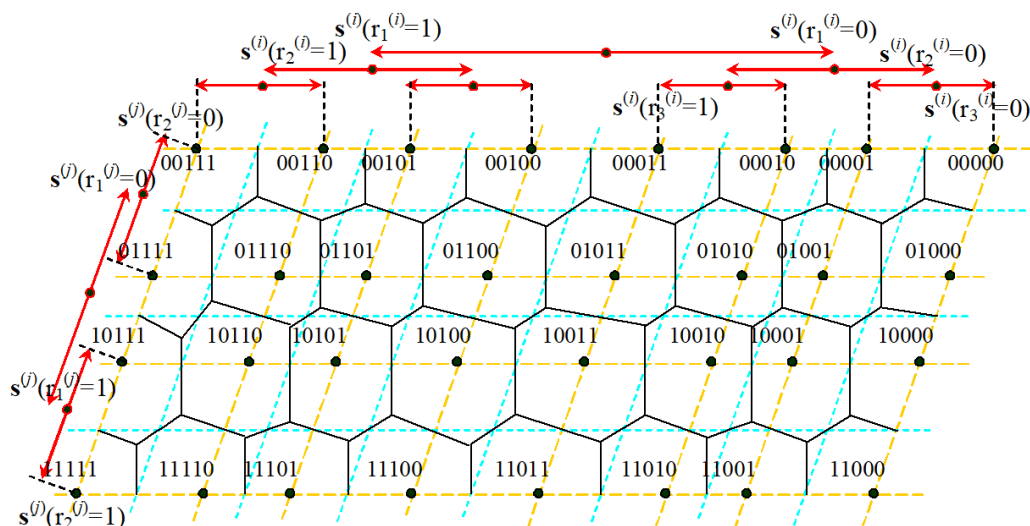


Рис. 6. Групповая сигнальная конструкция при аддитивном объединении пяти двоичных сигналов на основе двух кодовых структур: $s^{(i)}$ и $s^{(j)}$ при натуральном манипуляционном кодировании

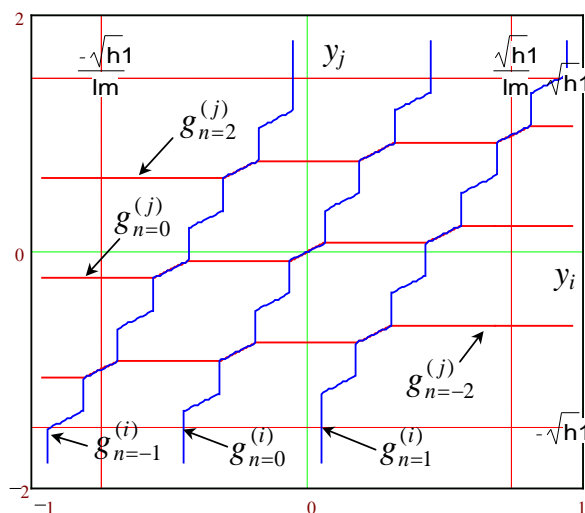


Рис. 7. Границы областей оценки информационных параметров $r_2^{(i)}$ и $r_2^{(j)}$ «плотного» группового сигнала, образованного базисными векторами (кодowymi структурами) s_i и s_j при $D_i=2$; $D_j=3$; $l_i=2^{i-1}$; $l_j=2^{j-1}$; $A_i=2,2$; $A_j=0,733$; $\rho_{ij}=0,2$

Рис. 8 иллюстрирует форму границы областей оценки информационных параметров $r_1^{(3)}$ и $r_1^{(2)}$ в трехмерном пространстве сигналов, образованном базисными векторами $\mathbf{s}_1, \mathbf{s}_2$ и \mathbf{s}_3 .

В заключение отметим, что в случае оценки многопозиционного символа кодовой структуры $r^{(j)}$, $j=1, \dots, N$ следует определить все разряды составного номера SN ячейки ГОИП, после чего с помощью соответствующего правила, использующего определенный номер SN и оценку элементарного сигнала, непосредственно определяется оценка символа $r^{(j)}$.

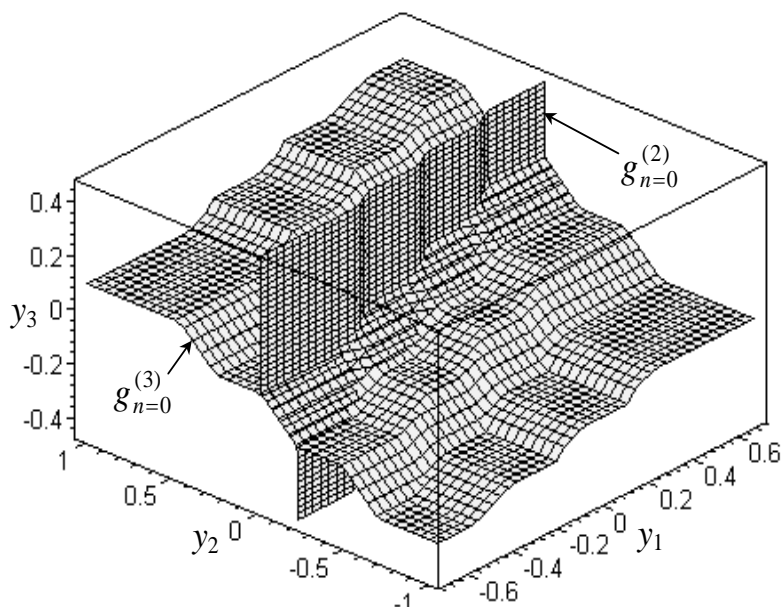


Рис. 8. Границы областей оценки информационных параметров $r_1^{(3)}$ и $r_1^{(3)}$ «плотного» группового сигнала, образованного базисными векторами (кодowymi структурами) s_1, s_2 и s_3 при $D_1=2; D_2=2; D_3=1; \{l_i=2^{i-1}, i=1, \dots, 3\}; A_1=2/3; A_2=1; A_3=1/2; \rho_{12}=0,2; \rho_{13}=0,25; \rho_{23}=0,3$

Анализ вычислительной сложности фрактального алгоритма МПД

Вычислим асимптотическую сложность фрактального алгоритма. Поскольку все алгоритмы МПД в работе представлены в компенсационном виде, для их сравнения достаточно определять асимптотическую вычислительную сложность их компенсирующих структур. Поскольку все известные когерентные алгоритмы МПД предполагают известные отклики корреляторов y и матрицу Грама E , вычислительная сложность при определении этих величин рассматриваться не будет.

Таким образом, рассчитаем асимптотическую вычислительную сложность компенсирующей структуры (19).

Как видно из данной формулы, асимптотическая вычислительная сложность компенсирующей структуры g_j^v на v -ом шаге рекурсии равна $O(C_v^2)$, где C_v^2 – число сочетаний из v по 2. Ее определяет вторая сумма (19).

Поскольку для расчета g_j^K требуется вычислить в общей сложности $\sum_{i=2}^{K-1} \frac{A_{K-1}^i}{(i-1)!}$ структур, где A_m^n – число размещений из m по n , то в итоге асимптотическая сложность вычисления компенсирующей структуры g_j^K равна

$$O\left(\sum_{i=2}^{K-1} \frac{A_{K-1}^i}{(i-1)!} C_i^2\right) \tag{20}$$

Таким образом, асимптотическая вычислительная сложность компенсационного алгоритма МПД, оптимального по критерию $\min P_e$, является экспоненциальной и практически совпадает с асимптотической сложностью $O(2^K C_K^2)$ алгоритма МПД, известного как алгоритм МПД «полного перебора» [5], оптимального по тому же критерию. Однако, при расчете ГОИП всех детектируемых сигналов вычислительная сложность фрактальных алгоритмов относительно алгоритмов «полного перебора» будет уменьшаться с ростом объема ансамбля сигналов за счет использования одних и тех же «промежуточных» ГОИП для расчета результирующих ГОИП разных детектируемых сигналов.

Заключение

В работе показано, что алгоритмы многопользовательского детектирования, в том числе сигналов с удельной информационной скоростью выше единицы («плотных» сигналов), могут быть получены на основе фракталов. При этом форма их записи (19) выглядит компактно по сравнению с представлением в [3]. В этой связи следует отметить, что форма (19) остается неизменной при возрастании размерности пространства сигналов. Таким образом, представленный способ синтеза фрактальных алгоритмов МПД обеспечивает построение последних со структурной сложностью, робастной к числу детектируемых сигналов.

Второй особенностью построения фрактальных алгоритмов является то, что их МПД является оптимальным по критерию минимума вероятности ошибки на групповой символ. Представляются они в компенсационном виде, что открывает возможность использования известных методик точного расчета их потенциальной помехоустойчивости.

Еще одним преимуществом фрактальных алгоритмов является то, что для их вычисления не требуется использовать гиперболические функции от больших аргументов, а также оценивать дисперсию шума, как это делается в [3]. Форма ГОИП фрактальных алгоритмов МПД, представляется в виде линейных ломаных поверхностей. Формирование линейных составляющих данных поверхностей на основе механизма матричных вычислений в архитектуре современных сигнальных процессоров позволит значительно увеличить их производительность, тем самым повысить скорость формирования ГОИП детектируемых сигналов. Данные особенности фрактальных алгоритмов значительно упрощают процесс детектирования, что делает полученные в работе алгоритмы для практических целей более предпочтительными относительно алгоритмов оптимального разделения сигналов в соответствии с критерием минимум вероятности ошибки на бит.

Недостатком фрактальных алгоритмов МПД также как и алгоритмов полного перебора, а также алгоритмов, предложенных в [3], является экспоненциальный рост их сложности с увеличением числа детектируемых сигналов. Данный недостаток фрактальных алгоритмов МПД можно преодолеть на основе комбинирования границ оценки информационных параметров детектируемых сигналов.

Литература

1. Зюко А.Г., Фалько А.И. и др. Помехоустойчивость и эффективность систем передачи информации / Под ред. А.Г. Зюко. – М.: Радио и связь, 1985. – 272 с.
2. Бобровский В.И. Многопользовательское детектирование. Монография. – Ульяновск: Изд-во «Вектор-С», 2007. – 348 с.
3. Бураченко Д.Л. Оптимальное разделение цифровых сигналов многих пользователей в линиях и сетях связи в условиях помех. – Л.: ВАС, 1990. – 302 с.
4. Мандельброт Б. Фрактальная геометрия природы. – М.: Институт компьютерных исследований, 2002.
5. Прокис Дж. Цифровая связь / Под ред. Д.Д. Кловского. – М.: Радио и связь, 2000. – 800 с.

References

1. Pomexhoustoychivost' i effektivnost' sistem peredachi informatsii [Noise immunity and efficiency of information transmission systems] / Zyuko A.G., Falko A.I. and etc .; Ed. A.G. Zyuko. Moscow. Radio and communications. 1985. 272 p. (In Russian).
2. Bobrovsky V.I. Mnogopol'zovatel'skoye detektirovaniye [Multiuser detection]. Monograph. Ulyanovsk: Vector-S Publishing House. 2007. 348 p. (In Russian).
3. Burachenko D.L. Optimal'noye razdeleniye tsifrovyykh signalov mnogikh pol'zovateley [Optimal separation of digital signals from many users]. Leningrad. YOU. 1990. 302 p. (In Russian).
4. Mandelbrot B. Fraktal'naya geometriya prirody [Fractal geometry of nature]. Moscow. Institute for Computer Research. 2002. (In Russian).
5. Prokis J. Tsifrovaya svyaz' [Digital Communication] / Ed. D.D. Klovsky. Moscow. Radio and communications. 2000. 800 p. (In Russian).

Fractal algorithms for multiple user detecting of “dense” signal assemblies

V.I. Bobrovsky

Annotation. One of the most important problems of mobile communications using CDMA and OFDM radio interface technologies is the possibility of using a frequency-efficient system of linearly dependent signals transmitted in the same time-frequency interval in the presence of crosstalk. The solution to this problem is associated with the development of practically acceptable multi-user detection algorithms, which will significantly increase such interconnected communication system parameters as bandwidth, subscriber capacity, and information transfer rate. The optimal reception of a group signal structure has an exponential dependence of the computing resource on the value of the group symbol, which in real mobile communication systems leads to a significant increase in the computational complexity of multi-user detection algorithms and limits its practical application. Existing approaches to the construction of practically acceptable multi-user detection algorithms are ineffective or have significant drawbacks that limit their practical application. The reason for this is the unresolved contradiction between an increase in the specific information rate of transmission of “dense” signal ensembles and a non-exponential increase in the computational complexity of their multi-user detection algorithms. It is shown that in accordance with the compensation approach to the synthesis of multi-user detection algorithms, the formation of the boundaries of estimates of information parameters of “dense” ensembles formed by the additive combination of one-dimensional multi-position signals and additive ensembles of binary signals can be constructed on the basis of algebraic fractals. Moreover, the boundaries of decision areas of “dense” ensembles can be built on the basis of the corresponding boundaries of additive ensembles of binary signals, which will significantly reduce their computational complexity.

Keywords: mobile communication system, multi-user detection, signal reception algorithms, decision areas, decision boundaries, information parameter estimation boundaries noise immunity, fractals, code division of signals, orthogonal frequency division multiplexing, computational complexity of algorithms.

Статья поступила 17 июня 2019 г.

Информация об авторах

Бобровский Вадим Игоревич – Главный специалист ПАО «Интелтех» (г. Санкт-Петербург). Доктор технических наук, доцент. Имеет более 130 научных трудов, в том числе 1 монография, 12 изобретений в области теории электрических цепей и сигналов.

Тел: +79626811021. E-mail: bobrovsky2001@mail.ru.

Адрес: 197341, Санкт-Петербург, Фермское шоссе, д.14, к.1, кв. 89.

Information about Authors

Bobrovsky Vadim Igorevich - Chief Specialist of PJSC Inteltech (St. Petersburg). Doctor of Technical Sciences (2009), Associate Professor (2010). He has more than 130 scientific papers, 1 monograph, 12 inventions in the field of the theory of electric circuits and signals.

Phone: +79626811021. E-mail: bobrovsky2001@mail.ru.

Address: 14, Fermskoye Shosse, St. Petersburg, building 1, apt. 89, index: 197341.

Для цитирования: Бобровский В.И. Фрактальные алгоритмы многопользовательского детектирования «плотных» ансамблей сигналов // Техника средств связи. 2019. № 4 (148). С. 15 – 28.

For citation: Bobrovsky V.I. Fractal algorithms for multiple user detecting of “dense” signal assemblies // Means of communication equipment. 2019. № 4 (148). P. 15 – 28. (In Russian).

УДК 621.396.67

Пространственная избирательность антенных решёток при цифровом приёме. Часть 2

Гук И.И.

Аннотация. Постановка задачи. Статья основывается на результатах первой части и посвящена рассмотрению практических аспектов построения антенных решёток с высокой пространственной избирательностью. **Целью работы** является рассмотрение вопросов выбора оптимальной геометрической структуры антенных решёток для формирования требуемой диаграммы направленности в широкой полосе частот. **Используемые методы:** теоретический и практический заделы в области синтеза антенных решёток, а также численные методы моделирования и расчёта в интегрированной среде *MatLab*. **Новизна** состоит в том, что предлагается геометрическая структура, имеющая хорошую пространственную избирательность в широком диапазоне частот. **Результат** заключается в том, что получены оценки пространственной избирательности антенных решёток с учётом методов цифровой обработки. **Практическая значимость** заключается в том, что полученный результат позволяет строить антенные решётки произвольной конфигурации с требуемой пространственной избирательностью для широкополосных сигналов, при минимальном количестве антенных элементов в антенной решётке, на основе методов цифровой обработки.

Ключевые слова: приёмные антенные решётки, цифровая обработка, пространственная избирательность, диаграмма направленности.

Введение

Рассмотрим антенную решётку (АР) состоящую из двух элементов. Зададим её геометрию относительно источника сигнала. Эта геометрия представлена на рис. 1.

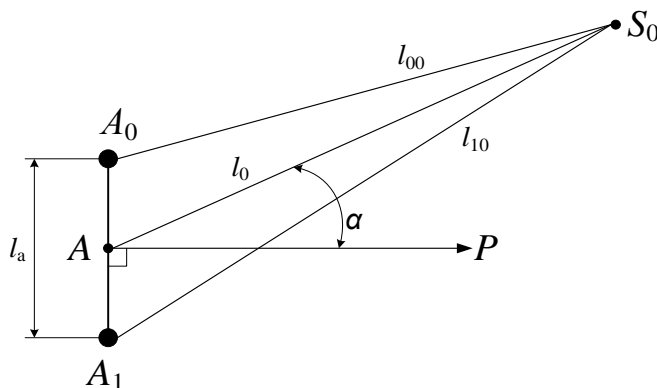


Рис. 1. Геометрия приёмной двухэлементной антенной решётки

На данном рисунке введены следующие обозначения:

A_0 и A_1 – элементы АР;

l_a – расстояние между элементами АР;

A – точка, делящая расстояние между элементами АР пополам;

S_0 – источник сигнала;

P – перпендикуляр к оси АР;

l_0 – расстояние от источника сигнала до точки A ;

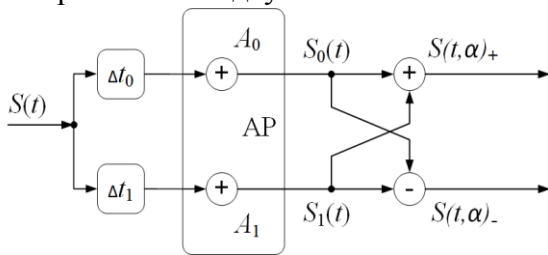
α – угол между направлением на источник сигнала S_0 и перпендикуляром P ;

l_{00} и l_{10} – расстояние от A_0 и A_1 до S_0 , соответственно.

Каждый из элементов АР A_0 и A_1 принимает свой сигнал $S_0(t)$ и $S_1(t)$, соответственно, которые в свою очередь являются задержанными копиями сигнала от одного источника $S(t)$:

$$S_0(t) = S(t + \Delta t_0); \quad S_1(t) = S(t + \Delta t_1).$$

Сигналы $S_0(t)$ и $S_1(t)$ могут быть обработаны двумя способами [1]: сложением – получаем результирующий сигнал $S(t, \alpha)_+$, либо вычитанием – сигнал $S(t, \alpha)_-$. На рис. 2 показана модель, которая будет использована для анализа пространственной избирательности двухэлементной АР.



Оценку эффективности пространственной избирательности будем проводить следующими коэффициентами:

$$K_{\text{ДН}+} = \sum_{\alpha} (1 - |S(t, \alpha)_+| / \max_{\alpha} (|S(t, \alpha)_+|)) / \alpha_{\text{max}},$$

$$K_{\text{ДН}-} = \sum_{\alpha} (1 - |S(t, \alpha)_-| / \max_{\alpha} (|S(t, \alpha)_-|)) / \alpha_{\text{max}}, \quad (1)$$

где $\alpha = [0, \alpha_{\text{max}}]$, $\alpha_{\text{max}} = 2\pi$.

Рис. 2. Модель для анализа пространственной избирательности двухэлементной АР

Сигналы $S(t, \alpha)_+$ и $S(t, \alpha)_-$ рассчитаем в соответствии с (6) из предыдущей части статьи:

$$|S(t, \alpha)_+| = |S(t, \Delta\varphi)_+| = 2A |\cos(\Delta\varphi/2)| = 2A |\cos(\pi l_a \cos(\alpha)/\lambda)|,$$

$$|S(t, \alpha)_-| = |S(t, \Delta\varphi)_-| = 2A |\sin(\Delta\varphi/2)| = 2A |\cos(\pi l_a \sin(\alpha)/\lambda)|, \quad (2)$$

где A – это амплитуда сигнала $S(t)$, в дальнейшем примем $A = 1$, $\Delta\varphi$ – разность фаз между сигналами $S_0(t)$ и $S_1(t)$, зависит от временных задержек ($\Delta\varphi = f(\Delta t_0 - \Delta t_1)$, см. рис. 2) и рассчитывается с учётом выражений (3) и (5) части 1 данной статьи: $\Delta\varphi = 2\pi\Delta l/\lambda = 2\pi\Delta l_a \sin(\alpha)/\lambda$, λ – длина волны сигнала, α – угол между сигналом и перпендикуляром (см. рис. 1), l_a – расстояние между элементами АР.

1. Пространственная избирательность двухэлементной АР

На рис. 3 представлены сонограммы, а на рис. 4 графики коэффициентов $K_{\text{ДН}+}$ и $K_{\text{ДН}-}$, рассчитанные (скрипт MatLab «model_ar_mf_v7.m») в соответствии с выражением (1).

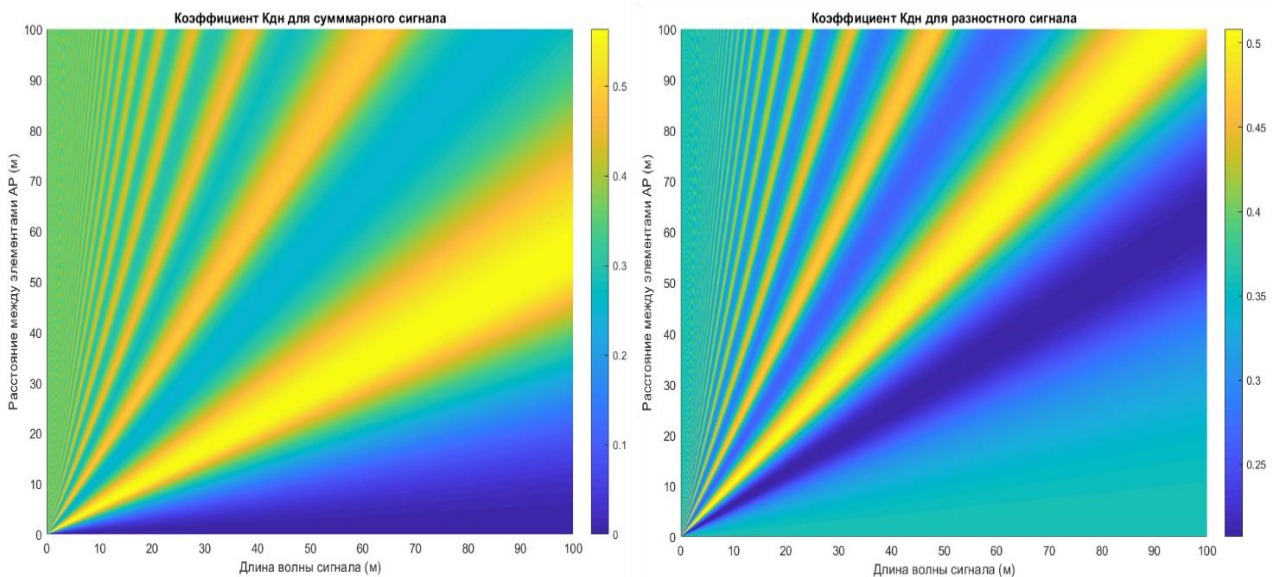


Рис. 3. Сонограммы коэффициентов пространственной эффективности двухэлементной АР для суммарного и разностного сигналов

Из полученных зависимостей видно наличие множества максимумов и минимумов как для суммарного, так и для разностного сигналов. Причём, чем короче длина волны, тем «изрезаннее» характеристики $K_{\text{ДН}+}$ и $K_{\text{ДН}-}$. Наиболее интересными, с практической точки зрения, являются первый максимум суммарного сигнала и первый минимум разностного сигнала. Это обусловлено тем, что для них диаграмма направленности (ДН) будет иметь минимальное количество «лепестков» (см. первую часть данной статьи).

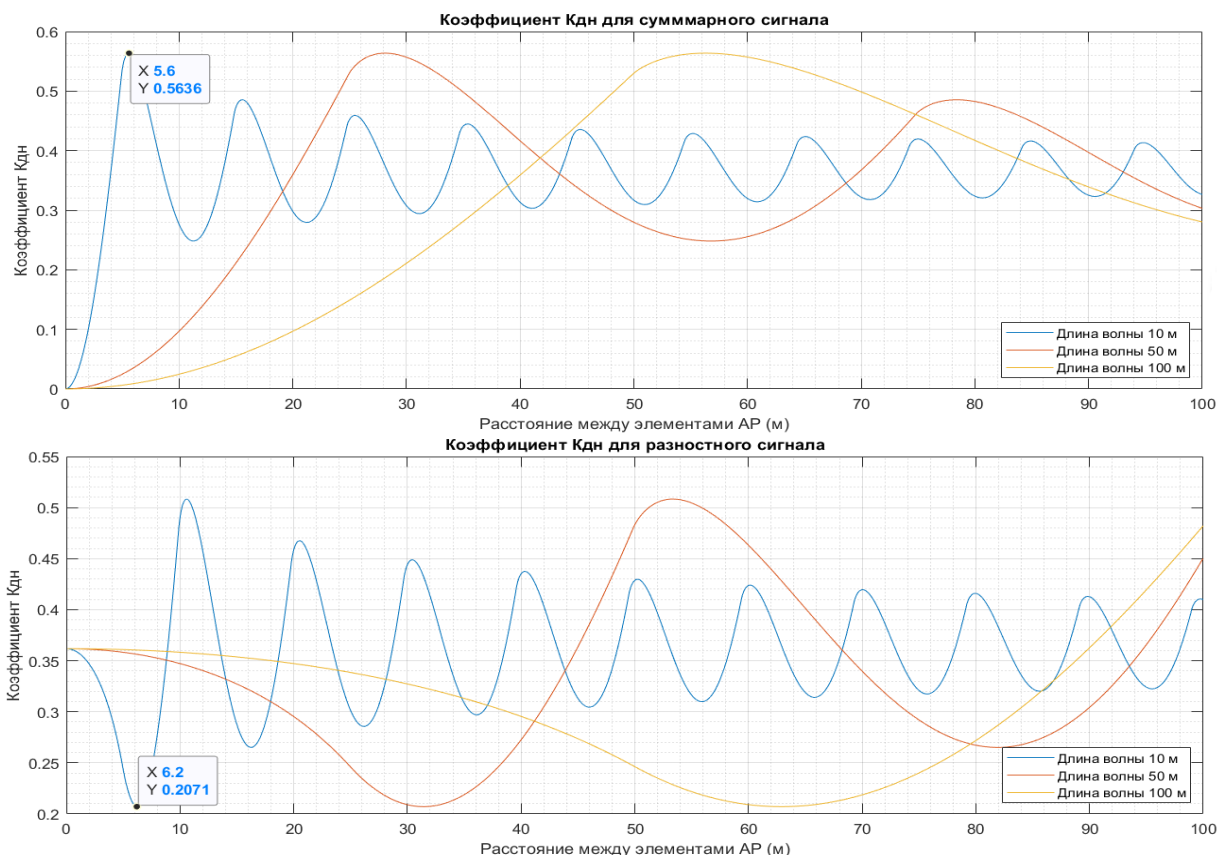


Рис. 4. Графики коэффициентов $K_{дн+}$ и $K_{дн-}$ двухэлементной АР для фиксированных длин волн

Обратите внимание, во-первых, первый максимум для $K_{дн+}$ и первый минимум для $K_{дн-}$ достигается при значениях расстояния между элементами АР l_a не равных между собой и чуть больше половины длины волны λ (на рис. 4 показаны значения коэффициентов $K_{дн+}$ и $K_{дн-}$ для длины волны $\lambda = 10$ м), во-вторых, чем больше длина волны, тем шире характеристика в области экстремума (см. рис. 4), в-третьих, если зафиксировать значение коэффициента диаграммы направленности (например, взять максимум или минимум), то для таких точек длина волны и расстояние между элементами АР связаны линейной зависимостью (см. рис. 3).

2. Выбор оптимального значения расстояния между элементами АР

Найдём ряд значений l_a , которые обеспечат перекрытия диапазона частот с уровнем избирательности, не хуже заданного.

Алгоритм решения данной задачи следующий:

1. Задать требуемый интервал длин волн, например, если выбрать КВ диапазон, то длина волны будет принадлежать интервалу $\lambda \in [10, 100]$ м.
2. Определить максимум коэффициента $K_{дн+}$ для наибольшего значения длины волны λ_{max} в заданном интервале (для рассматриваемого примера $\lambda_{max} = 100$ м).
3. Задать уровень ухудшение избирательности в выбранном интервале длин волн, например, 10 %, а затем определить значения расстояний между элементами АР, соответствующих заданному уровню избирательности для максимальной длины волны. Таких значений будет два: $l_{a\ max}(\lambda_{max})$ и $l_{a\ min}(\lambda_{max})$ (напомним, рассматривается только первый максимум $K_{дн+}$).
4. Определить коэффициенты наклона прямых, ограничивающих область допустимых значений коэффициента $K_{дн+}$:

$$\begin{aligned} k_{min} &= l_{a\ min}(\lambda_{max})/\lambda_{max}, \\ k_{max} &= l_{a\ max}(\lambda_{max})/\lambda_{max}. \end{aligned} \tag{3}$$

5. Определить значение расстояния между элементами АР l_{a0} для значения длины волны λ_0 (в рассматриваемом примере $\lambda_0 = 10$ м) в соответствии с выражением:

$$l_{a0} = k_{\max} \lambda_0 . \tag{4}$$

6. Определить следующие значение длины волны λ_1 , соответствующего нижней границе области допустимых значений коэффициента $K_{\text{ДН}+}$ в соответствии с выражением:

$$\lambda_1 = l_{a0} / k_{\min} . \tag{5}$$

7. Проверить выполнение условия: $\lambda_1 \geq \lambda_{\max}$. Если условие выполняется, то завершить выполнение алгоритма, в противном случае вернуться к п. 5, используя в качестве аргумента выражения (5) значение длины волны, полученное в п. 6.

Для лучшего понимания данного алгоритма на рис. 5 представлена его графическая интерпретация для случая создания двухэлементной АР, обрабатывающей суммарный сигнал.

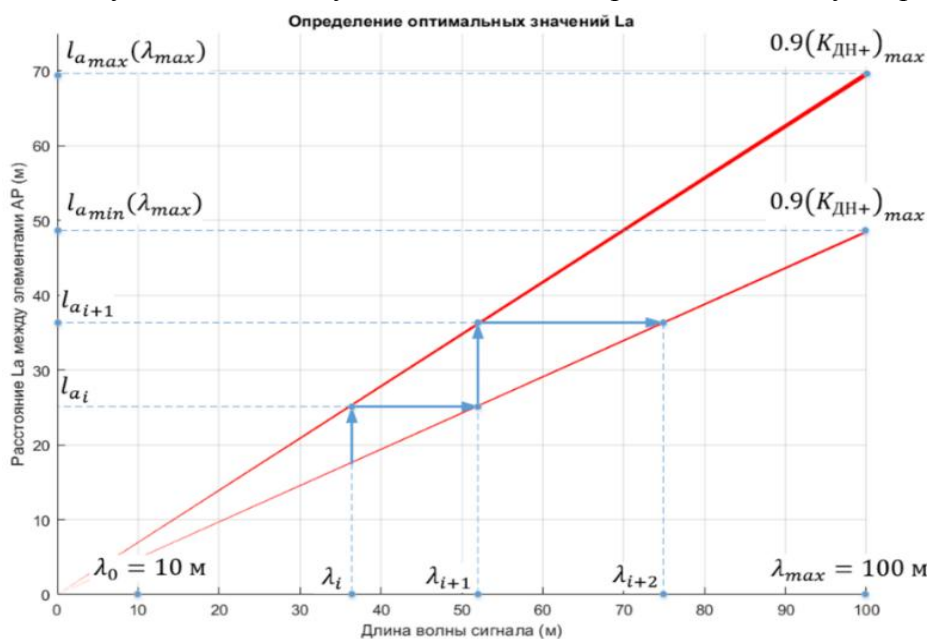


Рис. 5. Алгоритм определения ряда оптимальных значений l_a

При создании АР для разностного сигнала, алгоритм практически идентичен, за исключением того, что в качестве исходной точки в п. 2 необходимо выбрать минимум $K_{\text{ДН}-}$, а не максимум $K_{\text{ДН}+}$.

Данный алгоритм реализован в среде *MatLab* (скрипт «*model_ar_mf_v8.m*»). Результат вычислений п.п. 1-3 представлен на рис. 6.

На рис. 7 представлены расчёты коэффициента $K_{\text{ДН}}$ при оптимальных расстояниях между элементами АР для суммарного и разностного сигналов в КВ диапазоне (скрипт *MatLab* «*model_ar_mf_v8.m*»). Кроме того, полученный результат сведён в табл. 1.

Таблица 1 – Расчёт оптимального значения расстояния между элементами АР

Для суммарного сигнала								
l_a , м	6.9	9.74	13.76	19.42	27.44	38.74	54.72	-
$\Delta\lambda$, м	10÷14.14	14.14÷19.96	19.96÷28.18	28.18÷39.82	39.82÷56.22	56.22÷79.42	79.42÷100	-
λ при $\max(K_{\text{ДН}+})$	12.24	17.28	24.42	34.46	48.68	68.74	97.08	-
Для разностного сигнала								
l_a , м	7.26	9.82	13.28	17.98	24.32	32.9	44.5	60.22
$\Delta\lambda$, м	10÷13.54	13.54÷18.32	18.32÷24.78	24.78÷33.54	33.54÷45.38	45.38÷61.38	61.38÷83.06	83.06÷100
λ при $\max(K_{\text{ДН}-})$	11.52	15.6	21.08	28.56	38.62	52.24	70.66	95.62

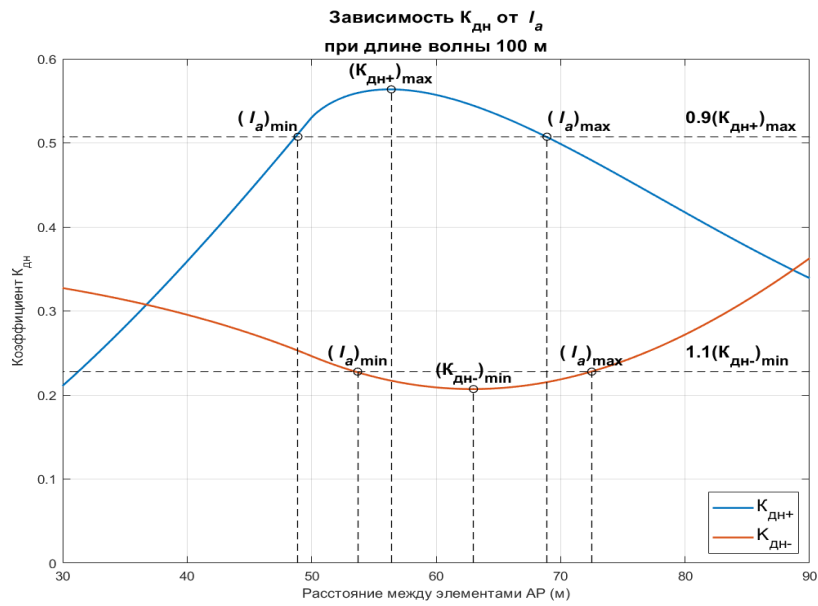


Рис. 6. Вычисление значений $l_{a\max}(\lambda_{\max})$ и $l_{a\min}(\lambda_{\max})$

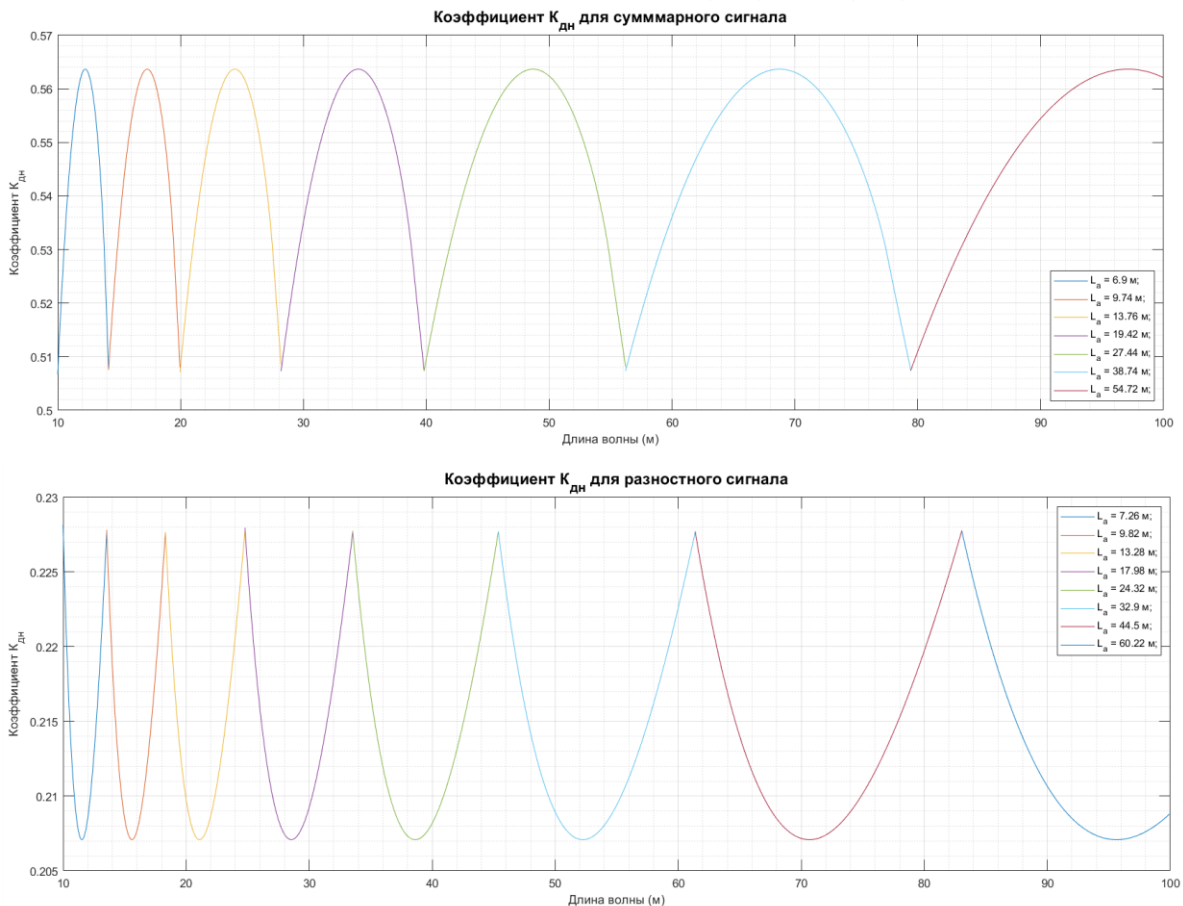


Рис. 7. Расчетное значение $K_{дн}$ при оптимальных значениях l_a

Первое, что стоит отметить, для разностного сигнала весь КВ диапазон при снижении $K_{дн}$ на 10 % перекрывается восьмью участками, а для суммарного – семью, второе, максимум (минимум) $K_{дн}$ достигаются при расстоянии при l_a чуть больше, чем $\lambda/2$, третье, значение максимума и минимума для всех интервалов одинаковое:
 $\max(K_{дн+}) = 0.5637$, $\min(K_{дн-}) = 0.2071$.

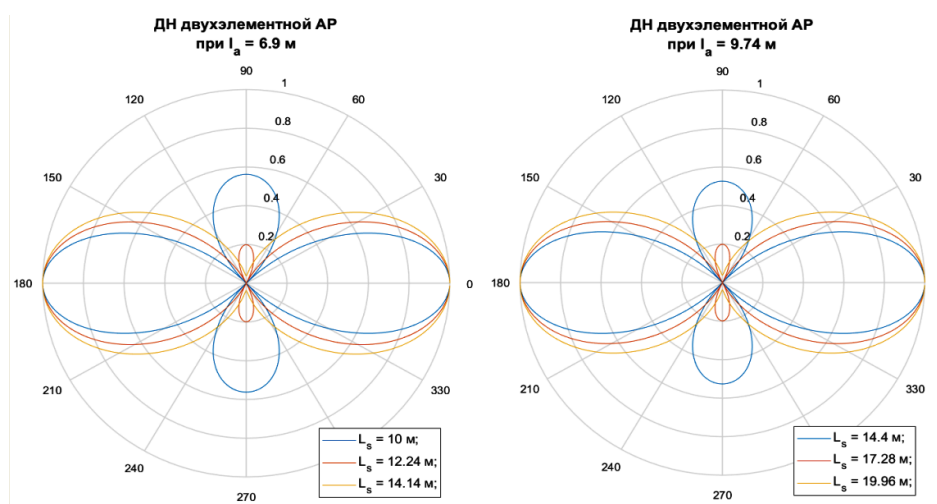


Рис. 8. ДН двухэлементной АР для суммарного сигнала при оптимальном значении l_a

Для примера рассчитана ДН для суммарного сигнала при условии $l_a = 6.9$ м для трёх значений длины волны $\lambda = 10, 12.24, 14.14$ и для $l_a = 9.74$ м при $\lambda = 14.14, 17.28, 19.96$, а также для разностного сигнала при условии $l_a = 7.26$ м для $\lambda = 10, 11.52, 13.54$ и $l_a = 9.82$ м для $\lambda = 13.54, 15.6, 18.32$ (скрипт *MatLab* «*model_ar_mf_v9.m*»). Результат расчёта для суммарного сигнала представлен на рис. 8, для разностного – на рис. 9. Он показывает идентичность изменения ДН для различных частотных диапазонов.

Теперь, исходя из полученных расчётов, можно предложить несколько вариантов размещения антенн при построении антенных решёток.

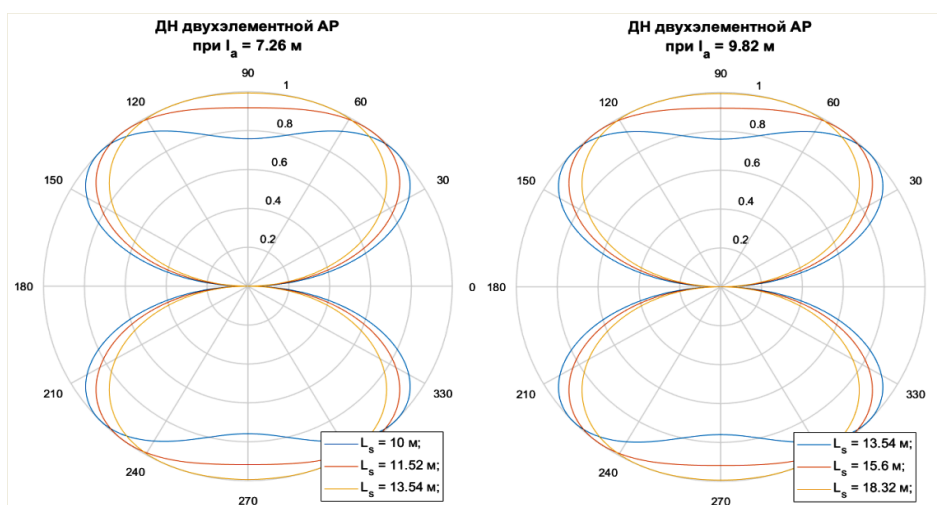


Рис. 9. ДН двухэлементной АР для разностного сигнала при оптимальном значении l_a

3. Линейная антенная решётка

Самый простой способ – это размещения элементов АР в линию. На рис. 10 представлен возможный вариант такого размещения. Расстояния между элементами АР взяты для суммарного сигнала из табл. 1.

Обратите внимание, что каждая антенна одновременно используется в нескольких частотных диапазонах. Независимость путей приёма в данном случае определяется непересекаемостью выбранных частотных интервалов.

Преимуществами такой реализации АР является её широкополосность (она позволит полностью перекрыть весь КВ диапазон) при достаточно хорошей избирательности. Как недостаток стоит указать на то, что в каждом поддиапазоне используются только по две антенны из восьми.

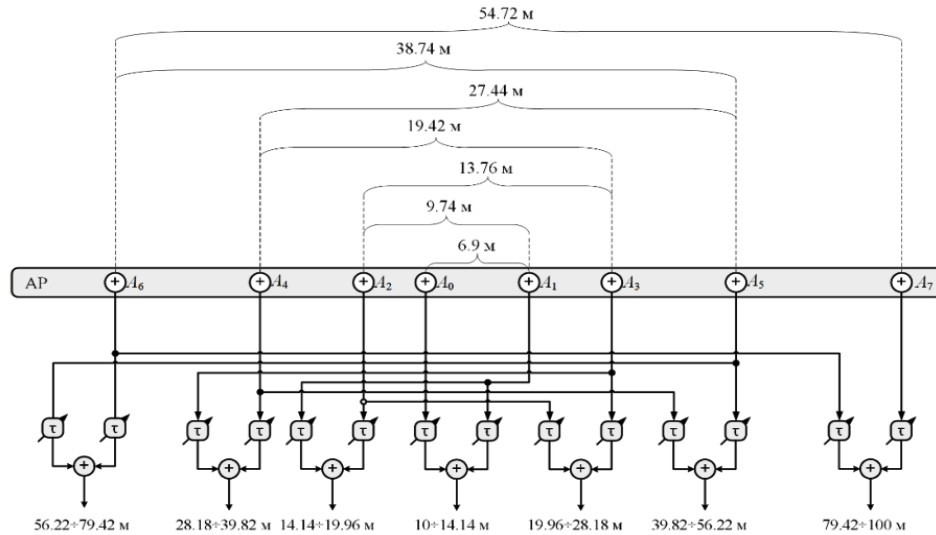


Рис.10. Линейная реализация AP КВ диапазона для суммарного сигнала

4. Кольцевая антенная решётка

Эффективной работы AP, когда частота принимаемого сигнала и расстояние между антенными элементами согласованы, можно достичь не только линейным размещением единичных антенн, но и круговой геометрией построения антенных систем. На рис. 11 показана эквидистантная структура кольцевой AP.

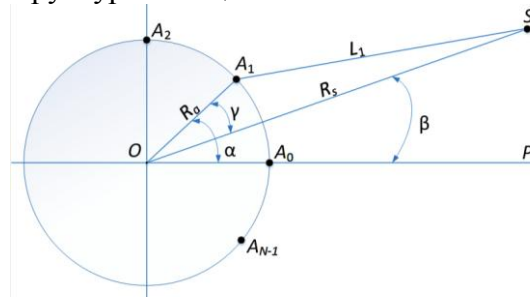


Рис. 11. Кольцевая эквидистантная AP

На данном рисунке введены следующие обозначения:

$A_0, A_1, A_2, \dots, A_{N-1}$ – элементы AP;

S – источник сигнала;

L_i – расстояние между элементами AP и источником сигнала;

$i = 0, \dots, N$ – номер антенного элемента;

N – количество антенных элементов;

O – центральная точка AP, где суммируются сигналы от антенных элементов;

P – перпендикуляр (нулевое направление) к AP;

R_s – расстояние от источника сигналов до центра AP;

R_a – радиус кольцевой AP;

β – угол между направлением на источник сигнала и перпендикуляром;

α_i – угол между направлением на i -й антенный элемент и перпендикуляром;

γ_i – угол между направлениями на i -й антенный элемент и источник S .

Исходя из представленной на рис. 11 геометрии AP, можно рассчитать временные задержки для каждого антенного элемента относительно центра AP в соответствии с выражением:

$$\tau_i = L_i/c = ((R_s^2 + R_a^2 - 2R_sR_a \cos(\gamma_i))^{0.5} - R_s)/c \quad (6)$$

где c – скорость света.

Углы γ_i , α_i и β определяются следующим образом:

$$\begin{cases} \gamma_i = \alpha_i - \beta, \\ \alpha_i = i \cdot 360/N, \\ \beta_i = [0, 360^\circ]. \end{cases} \quad (7)$$

Зная задержку, определяем фазу (см. (5) из первой части данной статьи):

$$\Delta\varphi_i = 2\pi \cdot f_s \cdot \tau_i, \quad (8)$$

где f_s – частота принимаемого сигнала.

Теперь можно найти сумму всех принятых антенными элементами сигналов:

$$S_{out}(t) = \sum_i S_i(t) = \sum_i S(t, \Delta\varphi_i), \quad (9)$$

где $S_i(t)$ – сигнал, принятый i -м антенным элементом, $S(t, \Delta\varphi_i)$ – сигнал от источника S , сдвинутый по фазе в соответствии с задержкой τ_i для каждого антенного элемента (7).

Из (6), (7) и (8) следует, что набег фазы для каждого антенного элемента в итоге зависит от двух параметров: от угла на данный антенный элемент и направления на источник сигнала S : $\Delta\varphi_i = f(\alpha_i, \beta)$, при этом $\beta = 0, \dots, 360^\circ$. Допустим, необходимо получить максимум суммы (10) в направлении на источник сигнала. Это можно достичь путем уравнивания фаз (временных задержек) в направлении на источник сигнала. Например, если сигнал приходит с направления, совпадающего с перпендикуляром P (см. рис. 11), т. е. при $\beta = 0^\circ$, максимум достигается, когда выполняется соотношение:

$$(S_{out}(t))_{\max, \text{ при } \beta = 0^\circ} = \sum_i S_i(t) = \sum_i S(t, \Delta\varphi_i - \Delta\varphi_0), \text{ где } i = [0, N]. \quad (10)$$

Расчёт ДН в соответствии с (10) для 8-элементной кольцевой АР был выполнен в среде *MatLab* (скрипт «*analiz_ar8_rasch_DN.m*»). Результат представлен на рис. 12. Он хорошо согласуется с общепринятыми теоретическими положениями [2].

К преимуществам такой геометрии построения АР можно отнести, во-первых, достаточную широкополосность, во-вторых, высокую пространственную избирательность. Как недостаток следует указать достаточно большие габаритные размеры такой АР.

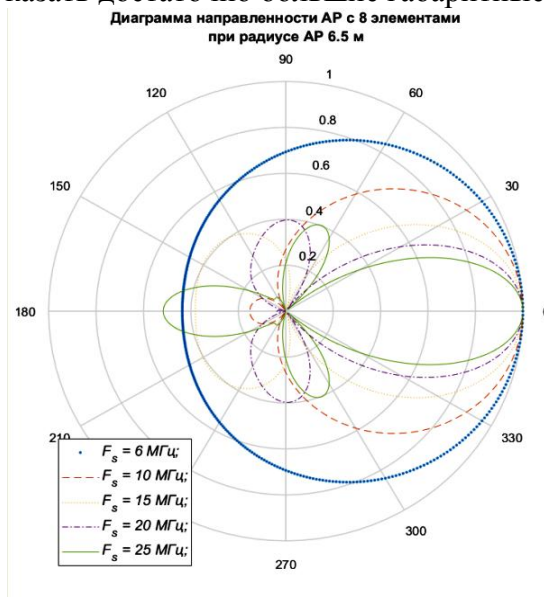


Рис. 12. ДН 8-элементной кольцевой АР

5. Пространственная антенная решётка

В последнем разделе данной статьи рассмотрим ещё один вариант построения многоэлементных АР – пространственный. За основу взята конструкция, состоящая из трёх антенных элементов (в дальнейшем трёхэлементная АР, или 3АР) (см. рис. 13).

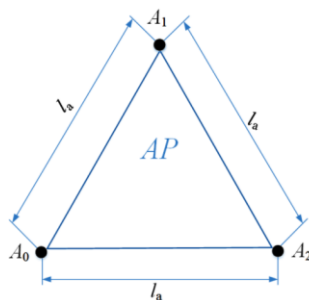


Рис. 13. Трёхэлементная AP

На данном рисунке введены следующие обозначения:

A_0, A_1 и A_2 – элементы AP;

l_a – расстояние между элементами AP.

Рассмотрим избирательные свойства данной AP. На рис. 14 представлено взаимное расположение источника сигнала и трёхэлементной AP, на основе которого рассмотрим её избирательные свойства.

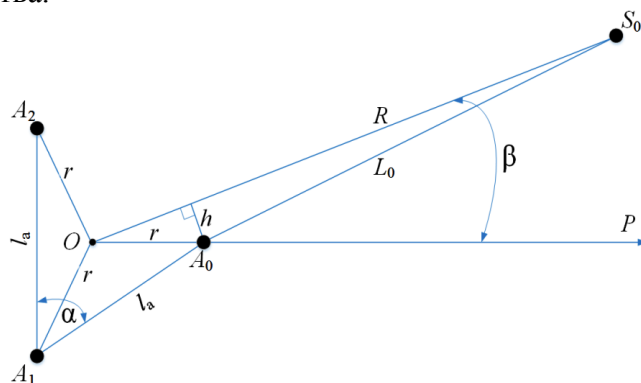


Рис. 14. Пространственная модель расположения антенных элементов и источника сигналов для анализа избирательных свойств ЗАР

На данном рисунке введены следующие обозначения:

A_0, A_1 и A_2 – элементы ЗАР;

l_a – расстояние между элементами ЗАР;

S_0 – источник сигнала;

O – центр ЗАР;

P – «перпендикуляр» к ЗАР, или «нулевое» направление;

R – расстояние от источника сигнала до центра ЗАР;

L_0 – расстояние от источника сигнала до элемента A_0 ЗАР;

r – расстояние от антенных элементов до центра ЗАР;

h – высота треугольника $O A_0 S_0$;

α – угол между катетами ЗАР, т. к. треугольник равнобедренный, то $\alpha = 60^\circ$;

β – угол между «нулевым» направлением и направлением на источник сигналов,

который может изменяться в пределах $\beta = 0, \dots, 360^\circ$.

Первое, что нужно сделать – это определить зависимость разности расстояний между источником сигнала S_0 и центром ЗАР, а также между источником сигнала S_0 и антенными элементами A_0, A_1 и A_2 (см. рис. 14), от угла β : $\Delta L_i = L_i - R = f(\beta)$, где $i = 0, 1, 2$ – номер антенного элемента, L_i – расстояние от источника сигнала до соответствующего элемента ЗАР, R – расстояние от источника сигнала до центра ЗАР (точка O на рис. 14), $\beta = 0, \dots, 360^\circ$ – угол между P и S_0 (см. рис. 14).

Учитывая теорему косинуса для треугольника, значения L_i могут быть определены как:

$$L_i = (R^2 + r^2 + 2 \cdot r \cdot R \cdot \cos(\beta + 120i))^{0.5}. \quad (11)$$

Величина r (расстояние от центра ЗАР до элементов A_0, A_1 и A_2 – см. рис. 14) выражается через расстояние между элементами ЗАР:

$$r = l_a / (2 \cos(0.5 \cdot \alpha)) = l_a / (2 \cos(30^\circ)) = l_a / 3^{0.5}. \quad (12)$$

В итоге выражение (10) примет вид:

$$\Delta L_i = (R^2 + l_a^2 / 3 - 2 \cdot R \cdot l_a \cdot \cos(\beta + 120i) / 3^{0.5})^{0.5} - R. \quad (13)$$

При условии $R \gg r$ (или $R \gg l_a / 3^{0.5}$), можно использовать приближённое выражение для нахождения разности хода лучей:

$$\Delta L_i \approx -l_a \cdot \cos(\beta + 120i) / 3^{0.5}. \quad (14)$$

где $c = 3 \cdot 10^8$ [м/с] – скорость света, l_a – расстояние между элементами ЗАР, $\beta = 0, \dots, 360^\circ$ – угол между P и S_0 (см. рис. 14); $i = 0, 1, 2$ – номер антенного элемента.

Зная разность хода лучей можно оценить временные задержки сигналов, принятых разными антенными элементами ЗАР (см. выражение (4) в первой части данной статьи):

$$\tau_i = \Delta L_i / c, \quad (15)$$

где $c = 3 \cdot 10^8$ [м/с] – скорость света, ΔL_i – разность хода лучей в соответствии с (13), или (14), $i = 0, 1, 2$ – номер антенного элемента.

Теперь можно определить фазовые соотношения между принятыми сигналами и центром ЗАР (см. выражение (5) в первой части данной статьи):

$$\Delta \phi_i = 2\pi \cdot \Delta L_i / \lambda = 2\pi \cdot f \cdot \Delta L_i / c = 2\pi \cdot f \cdot \tau_i, \quad (16)$$

где c – скорость света, $i = 0, 1, 2$ – номер антенного элемента, λ – длина волны сигнала, $f = c / \lambda$ – частота сигнала, ΔL_i – разность хода лучей в соответствии с (13), или (14), τ_i – временная задержка в соответствии с (15).

Зависимость фазовых сдвигов относительно центра ЗАР для принятых сигналов от направления на источник сигналов представлена на рис. 15.

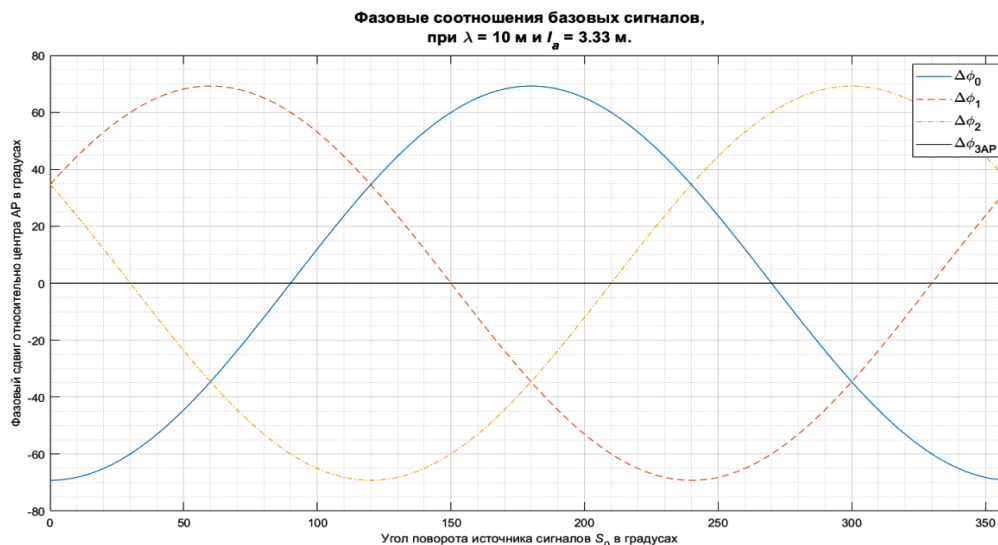


Рис. 15. Фазовые сдвиги базовых сигналов

Теперь определим зависимость амплитуды суммарного сигнала от угла между «нулевым» направлением и направлением на источник сигналов ($A_+ = f(\Delta \phi_i)$), предполагая, что принятые сигналы суммируются в центре ЗАР и имеют одинаковые единичные амплитуды ($|S_0(t)| = |S_1(t)| = |S_2(t)| = 1$).

Напомним, суммирование проводим в векторной форме (см. раздел 1 первой части статьи). Вначале проведём суммирование сигналов $S_1(t)$ и $S_0(t)$, принятых антенными элементами A_1 и A_2 (см. рис. 14). На рис. 16 представлена векторная диаграмма суммирования этих сигналов.

На данном рисунке введены следующие обозначения:

$\Delta\varphi_1$ и $\Delta\varphi_2$ – фазовые разности, рассчитанные в соответствии с выражением (16);

$\Delta\varphi_{3AP}$ – набег фазы для центра 3АР (точка O на рис. 14);

$S_1(t)$ и $S_2(t)$ – сигналы, принятые элементами A_1 и A_2 (см. рис. 14);

$S_{1+2}(t)$ и $S_{1-2}(t)$ – векторные сумма и разность сигналов $S_1(t)$ и $S_2(t)$;

$\Delta\varphi_+$ и $\Delta\varphi_-$ – фазовые разности для расчёта $S_{1+2}(t)$ и $S_{1-2}(t)$;

$\Delta\varphi_{1+2}$ и $\Delta\varphi_{1-2}$ – фазовые разности $S_{1+2}(t)$ и $S_{1-2}(t)$ относительно точки O .

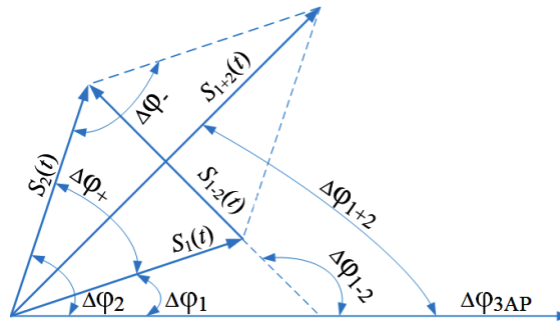


Рис. 16. Векторная диаграмма суммирования сигналов $S_1(t)$ и $S_2(t)$

Исходя из рис. 16 можно записать следующие соотношения для фазовых разностей:

$$\begin{cases} \Delta\varphi_+ = \Delta\varphi_2 - \Delta\varphi_1; \\ \Delta\varphi_- = 180 - \Delta\varphi_+; \\ \Delta\varphi_{1+2} = (\Delta\varphi_2 + \Delta\varphi_1)/2; \\ \Delta\varphi_{1-2} = 90 + \Delta\varphi_{1+2}. \end{cases} \quad (17)$$

Учитывая выражение (6) из первой части данной статьи, можно рассчитать значение амплитуд сигналов $S_{1+2}(t)$ и $S_{1-2}(t)$:

$$\begin{aligned} |S_{1+2}(t)| &= 2 \cdot |\cos(\Delta\varphi_+ / 2)| = 2 \cdot |\cos((\Delta\varphi_2 - \Delta\varphi_1) / 2)|; \\ |S_{1-2}(t)| &= 2 \cdot |\sin(\Delta\varphi_- / 2)| = 2 \cdot |\sin((\Delta\varphi_2 - \Delta\varphi_1) / 2)|. \end{aligned} \quad (18)$$

Построив графики полученных зависимостей в полярных координатах, легко убедиться в их полном совпадении с графиками для двухэлементной АР, что косвенно подтверждает правильность полученного результата. Для наглядности на рис. 17 представлены графики зависимостей (18). Сравнивая их с графиками, представленными на рис. 4 в первой части статьи, видим полное совпадение.

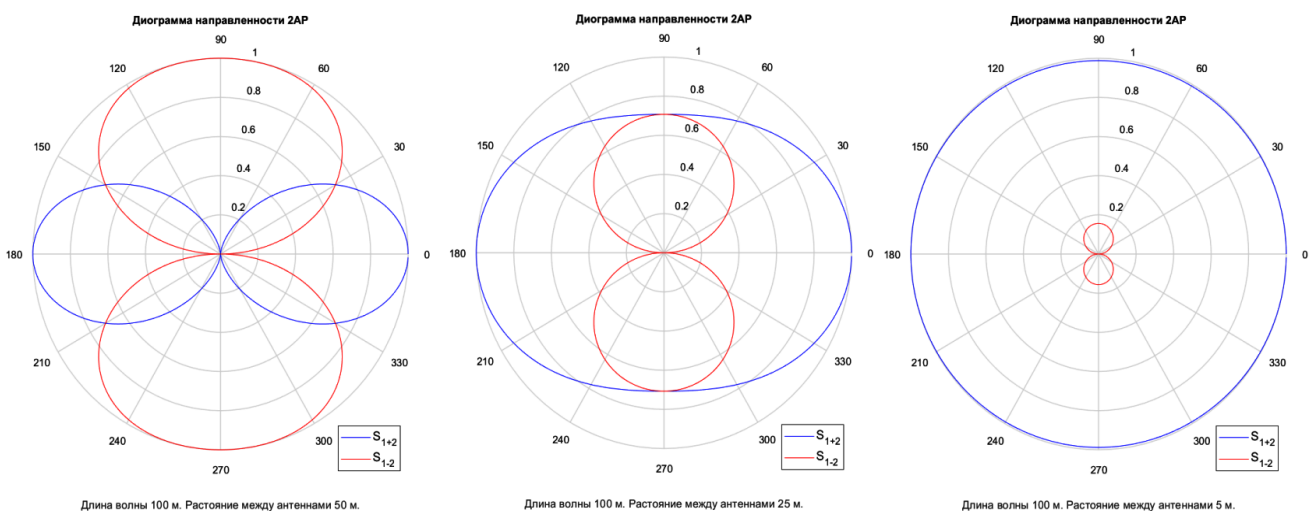


Рис. 17. Диаграммы направленности для двух элементов 3АР, при длине волны 100 м и при расстояниях между элементами АР 50, 25 и 5 м

Теперь, снова воспользовавшись теоремой косинусов, можно определить зависимости амплитуд для возможных комбинаций сумм и разностей всех сигналов, принятых антенными элементами A_0, A_1 и A_2 :

$$\begin{aligned} |S_{0+(1+2)}(t)| &= (|S_{1+2}(t)|^2 + |S_0(t)|^2 - 2 \cdot |S_{1+2}(t)| \cdot |S_0(t)| \cdot \cos(\Delta\varphi_{++}))^{0.5}; \\ |S_{0-(1+2)}(t)| &= (|S_{1+2}(t)|^2 + |S_0(t)|^2 - 2 \cdot |S_{1+2}(t)| \cdot |S_0(t)| \cdot \cos(\Delta\varphi_{-+}))^{0.5}; \\ |S_{0+(1-2)}(t)| &= (|S_{1-2}(t)|^2 + |S_0(t)|^2 - 2 \cdot |S_{1-2}(t)| \cdot |S_0(t)| \cdot \cos(\Delta\varphi_{+-}))^{0.5}; \\ |S_{0-(1-2)}(t)| &= (|S_{1-2}(t)|^2 + |S_0(t)|^2 - 2 \cdot |S_{1-2}(t)| \cdot |S_0(t)| \cdot \cos(\Delta\varphi_{--}))^{0.5}. \end{aligned} \tag{19}$$

Фазовые разности для выражения (19) могут быть определены следующим образом:

$$\begin{cases} \Delta\varphi_{-+} = \Delta\varphi_{1+2} - \Delta\varphi_0; \\ \Delta\varphi_{++} = 180 - \Delta\varphi_{-+}; \\ \Delta\varphi_{--} = \Delta\varphi_{1-2} - \Delta\varphi_0; \\ \Delta\varphi_{+-} = 180 + \Delta\varphi_{-+}. \end{cases} \tag{20}$$

На рис. 18 представлен результат расчёта зависимостей амплитуд суммарно-разностных сигналов от угла на источник сигналов. Графики даны в полярных координатах.

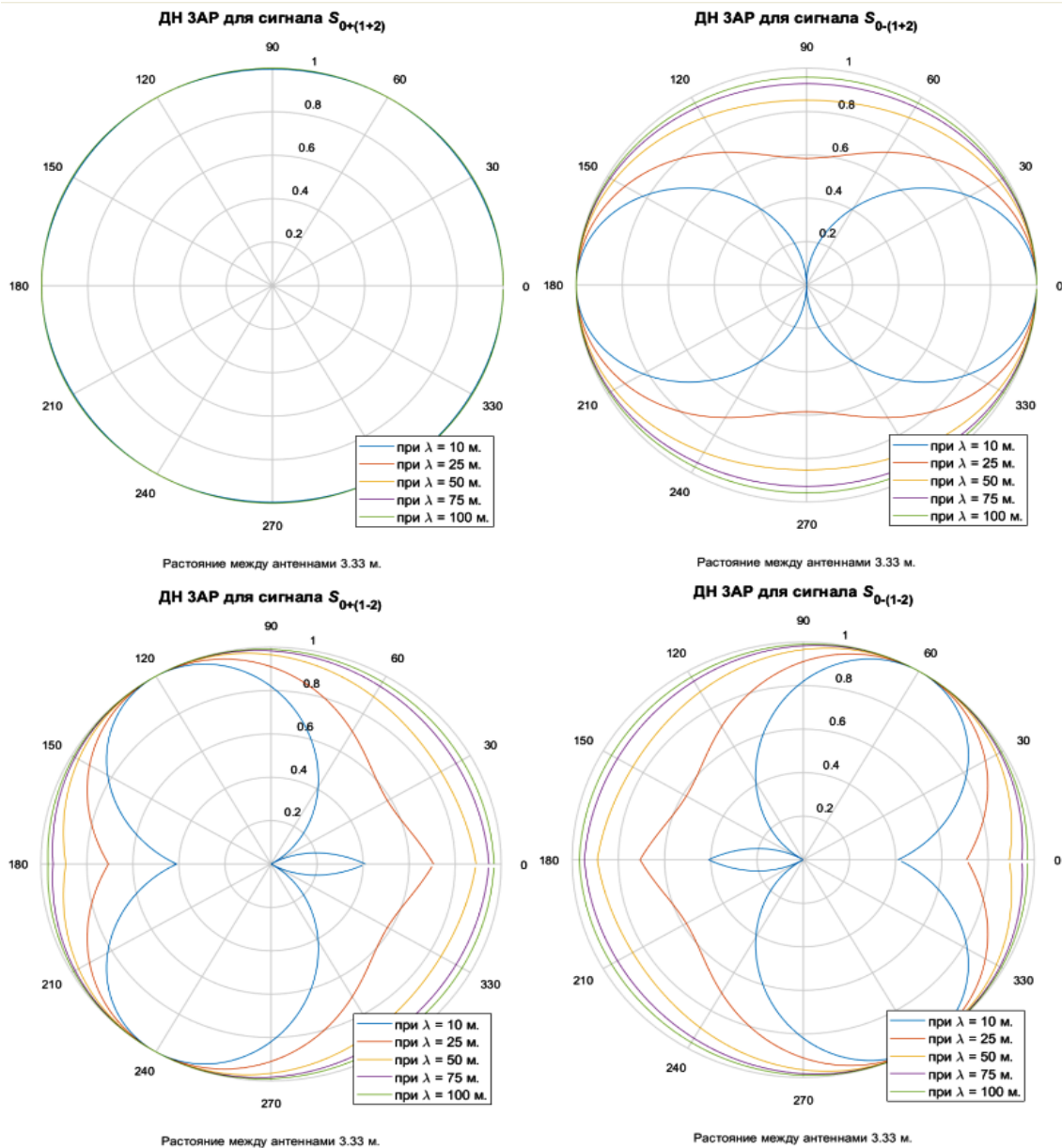


Рис. 18. ДН для суммарно-разностных сигналов ЗАР

Анализ полученного результата позволяет сделать вывод, что наибольший интерес представляет зависимость амплитуду для сигнала $S_{0-(1+2)}(t)$, так как она показывает наилучшую пространственную избирательность с точки зрения её практического применения.

Для более глубокого анализа данной зависимости были рассмотрены фазовые соотношения для данной суммы базовых сигналов. Они представлены на рис. 19.

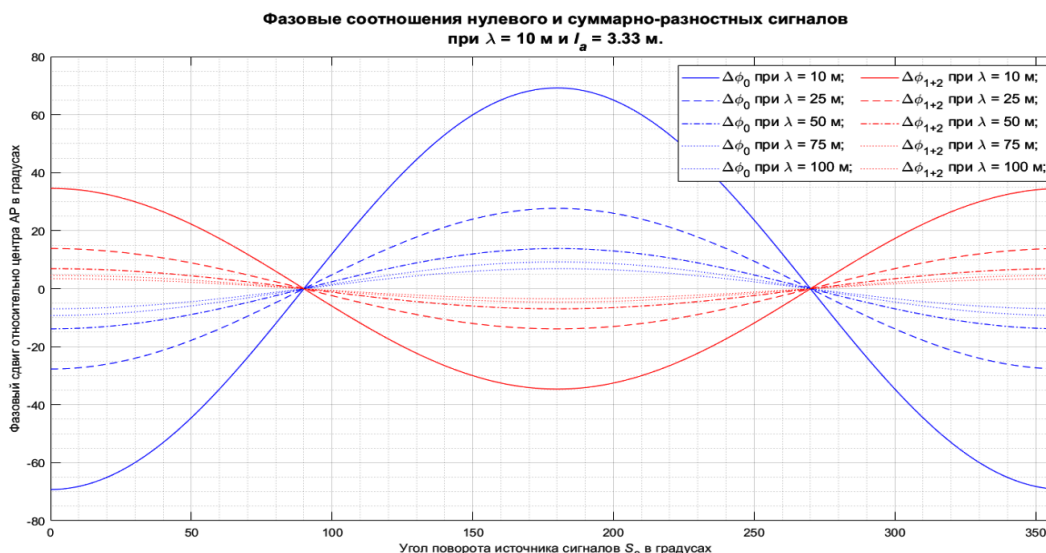


Рис. 19. Фазовые соотношения при формировании сигнала $S_{0-(1+2)}(t)$

Очевидно, что существуют два значения угла на источник сигнала ($\beta = 90^\circ$ и $\beta = 270^\circ$), при которых во всём (!) диапазоне достигается равенство фазовых сдвигов сигналов $S_0(t)$ и $S_{1+2}(t)$ относительно центра ЗАР.

Задав ограничение:

$$S_0(t) = |S_{1+2}(t)| \text{ при } \beta = 90^\circ, \tag{21}$$

при этом допуская $|S_{1+2}(t)|_{\text{при } \beta = 90^\circ} \equiv |S_{1+2}(t)|_{\text{при } \beta = 270^\circ}$, можно получить зависимость амплитуды сигнала $S_{0-(1+2)}(t)$ от угла на источник сигналов (напомним, что эта зависимость является диаграммой направленности для данной реализации ЗАР), представленную на рис. 20 а) и в).

Допускается взять какое-либо фиксированное, близкое к оптимальному, значение амплитуды $S_0(t)$, например, для КВ диапазона подходит 2. При этом ДН будет иметь достаточно приемлемую форму (см. рис. 20 б) и г)).

Нужно рассмотреть ещё один аспект применения ЗАР – это изменения усилительных свойств в диапазоне частот. Так, например, расчёт максимального назначения сигнала $S_{0-(1+2)}(t)$ для КВ диапазона указан в табл. 2. Из приведенных в ней данных следует, что, во-первых, максимальное значение амплитуды $S_{0-(1+2)}(t)$ соответствует высокочастотной части принимаемого диапазона, во-вторых, максимальное значение амплитуды сигнала $S_{0-(1+2)}(t)$ зависит от частоты сигнала и расстояния между антенными элементами ЗАР, в-третьих, чрезмерное увеличение максимального значения амплитуды $S_{0-(1+2)}(t)$ приводит к ухудшению пространственной избирательности ЗАР.

Таблица 2 – Оптимальное значение амплитуды сигнала $S_0(t)$ при формировании суммарно-разностного сигнала $S_{0-(1+2)}(t)$

№ п/п	Расстоянии между элементами АР, м	Значение амплитуды сигнала $S_0(t)$	Длина волны λ , м				
			10	25	50	75	100
1	3.33	Оптимальное	2.4415	1.3665	0.7143	0.4801	0.3611
2		2	3.1482	1.4181	0.7208	0.4820	0.3619
3	5	Оптимальное	2.0000	1.9013	1.0529	0.7150	0.5397
4		2	3.9118	2.0708	1.0749	0.7216	0.5425

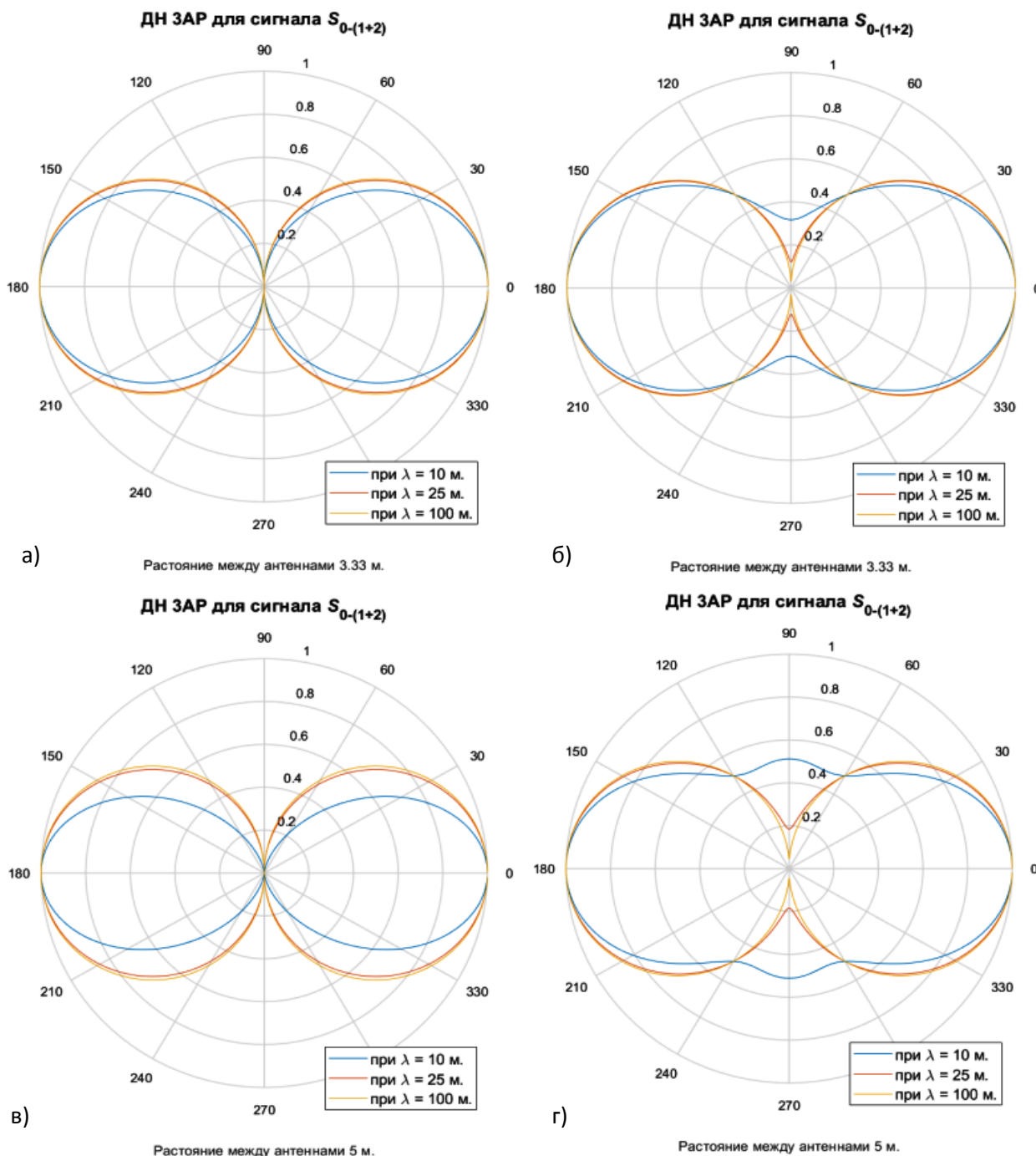


Рис. 20. ДН ЗАР для случаев оптимального а) и квазиоптимального б) значения амплитуды сигнала $S_0(t)$

На рис. 21 представлена функциональная схема приёма сигналов $S_{0-(1+2)}(t)$ ЗАР.

На данном рисунке введены следующие обозначения: A_0, A_1 и A_2 – элементы ЗАР; S – источник сигнала; P – «перпендикуляр» к ЗАР, или «нулевое» направление; β – угол между перпендикуляром P и направлением на источник сигналов S ; K – коэффициент масштабирования амплитуды сигнала $S_0(t)$.

Для проверки полученного теоретического результата было выполнено имитационное моделирование в среде *MatLab*. Функциональная схема реализованной модели приведена на рис. 22. Алгоритм моделирования реализован в скрипте *MatLab* «*analiz_ar3_model_DN.m*».

Сравнивая графики, полученные в результате имитационного моделирования, рис. 23 а), б), и графики, полученные в результате теоретического расчёта, рис. 20 а), б), видим их совпадение. Это позволяет утверждать, что анализ ДН ЗАР проведён корректно.

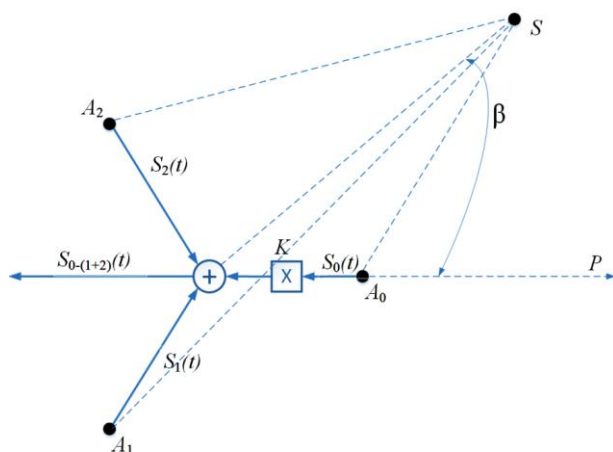


Рис. 21. Функциональная схема приёма сигнала $S_{0-(1+2)}(t)$

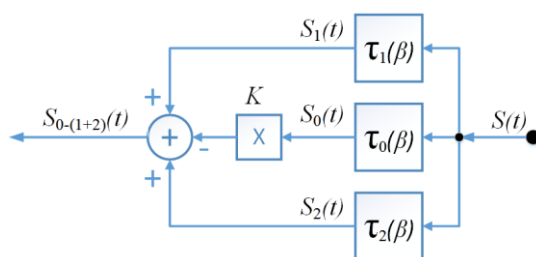


Рис. 22. Функциональная схема моделирования приёма сигнала $S_{0-(1+2)}(t)$

К преимуществам данной геометрии построения АР можно отнести, во-первых, широкополосность, во-вторых, практически постоянную пространственную избирательность во всём принимаемом диапазоне частот, в-третьих, достаточно компактные геометрические размеры по сравнению с ранее рассмотренными способами построения АР. Как недостаток следует указать достаточно большой перепад усилительных свойств такой геометрии АР.

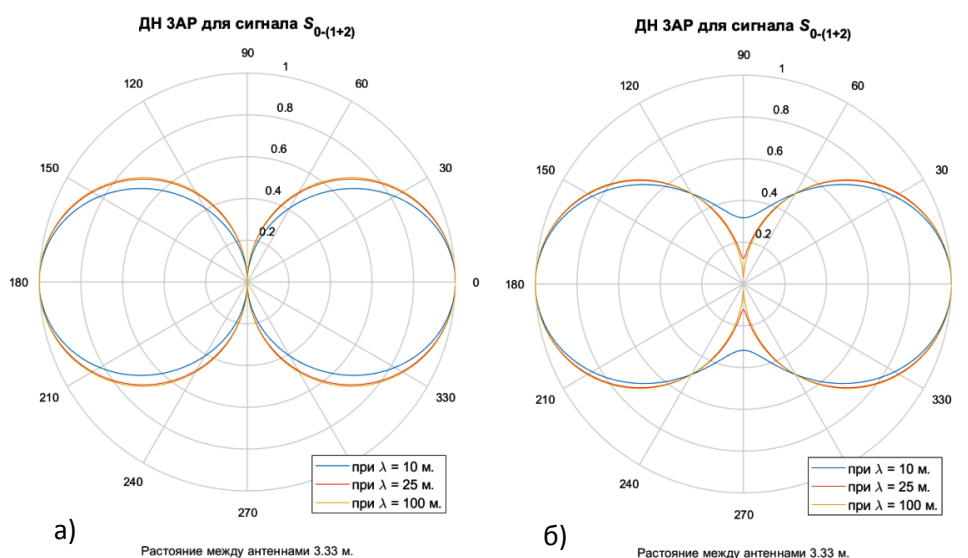


Рис. 23. ДН ЗАР, полученная в результате имитационного моделирования

Выводы

Основываясь на результатах первой части статьи, в предыдущем номере журнала были рассмотрены вопросы выбора оптимальной геометрической структуры антенных решёток для формирования требуемой диаграммы направленности в широкой. Были созданы

математические модели работы различных геометрических структур антенных решёток, проанализированы их частотные и фазовые свойства, и на основании полученных результатов предложена структура трёхэлементной антенной решётки и простым алгоритмом весового сложения принятых сигналов, которая позволяет получить приемлемую пространственную избирательность в широкой полосе частот, например, во всём КВ диапазоне.

Литература

1. Фиговский Э.А., Сигаль М.П., Жуков Г.А., Голубев В.П. Алгоритмы работы автоматической экстремальной системы компенсации сосредоточенных по спектру помех // Техника средств связи. Вып. № 8. Сер. ТПС. 1976.
2. Кукес И.С., Старик М.Е. Основы радиопеленгации, М.: Советское радио, 1964. – 640 с.

References

1. Figovskij E.A., Sigal' M.P., Zhukov G.A., Golubev V.P. Algoritmy raboty avtomaticheskoy ekstremal'noj sistemy kompensacii sosredotochennyh po spektru pomekh [Algorithms of automatic extreme system of compensation of the noise concentrated on a spectrum] // Tekhnika sredstv svyazi. Vyp. № 8. Ser. TPS. 1976. (In Russian).
2. Kukes I.S., Starik M.E. Osnovy radiopelengacii [The basics of radio direction-finding]. Moscow. Sovetskoe radio. 1964. 640 p. (In Russian).

Статья поступила 01 июля 2019 г.

Информация об авторе

Гук Игорь Иосифович – Ведущий инженер ПАО «Интелтех». Кандидат технических наук. Область научных интересов: цифровая обработка сигналов, радиосвязь в декаметровом диапазоне. Тел.: +79111704935. E-mail: gook_igor@mail.ru. Адрес: 197342, Россия, Санкт-Петербург, Кантемировская ул., д. 8.

The spatial selectivity of the antenna arrays with digital reception. Part 2

I.I. Guk

Problem statement. The article is based on the results of the first part and is devoted to the consideration of practical aspects of antenna arrays construction with high spatial selectivity. **The aim of the work** is to consider the choice of the optimal geometric structure of antenna arrays for the formation of the desired radiation pattern in a wide frequency band. **Methods used:** theoretical and practical groundwork in the field of synthesis of antenna arrays, as well as numerical methods of modeling and calculation in the integrated Matlab environment. **The novelty** is that the proposed geometric structure has good spatial selectivity in a wide range of frequencies. **The result** is that the estimates of spatial selectivity of antenna arrays are obtained taking into account the methods of digital processing. **The practical significance** lies in the fact that the obtained result allows to cost antenna arrays of arbitrary configuration with the required spatial selectivity for broadband signals, with a minimum number of antenna elements in the antenna array, based on digital processing methods.

Keywords: receiving antenna arrays, digital processing, spatial selectivity, radiation pattern.

Information about Authors

Guk Igor Iosifovich – Leading engineer of PJSC "IntelTech". Ph. D. Research interests: Digital signal processing, radio communication in the decameter range. Tel: +79111704935. E-mail: gook_igor@mail.ru. Address: Russia, 197342, Saint-Petersburg, Kantemirovskay st, 8.

Для цитирования: Гук И.И. Пространственная избирательность антенных решёток при цифровом приёме. Часть 2 // Техника средств связи. 2019. № 4 (148). С. 29-44.

For citation: Guk I.I. The spatial selectivity of the antenna arrays with digital reception. Part 2 // Means of communication equipment. 2019. No 4 (148). P. 29-44. (In Russian).

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

УДК 004.052.2

Модуль оценки реализации требований к специальному программному обеспечению

Ли Ю.Е., Васильев Н.В., Горбачев И.М., Прокопович Ю.В., Раков И.В.

Аннотация. Постановка задачи: современные специальные автоматизированные системы представляют собой сложные аппаратно-программные комплексы, создание которых сопряжено с высокой нагрузкой на персонал не только на этапах проектирования и разработки, но и развертывания и ввода в эксплуатацию. Основным фактором высокой нагрузки являются ошибки, допускаемые на стадиях проектирования и разработки. Для автоматизации процессов контроля исправления ошибок широкое распространение получили системы автоматизации тестирования, баг-трекинга и управления процессом разработки. Однако, большинство указанных инструментов являются инструментами разработчиков и руководителей нижнего звена. Инструменты интегральной оценки степени зрелости специального программного обеспечения отсутствуют, хотя польза подобного рода программных средств несомненна. **Цель работы:** разработка прототипа модуля для оценки реализации требований к специальному программному обеспечению. **Используемые методы:** в основу модуля были положены методики международного стандарта ISO, уточненных требованиями, предъявляемыми к специальному программному обеспечению. **Новизна и практический результат:** состоит в автоматизации процесса экспертной оценки качества специального программного обеспечения как с точки зрения разработчиков, так и с точки зрения конечных пользователей. Предлагаемый модуль позволяет повысить степень соответствия защищенных программных продуктов предъявляемым функциональным требованиям.

Ключевые слова: качество программного обеспечения, модели оценки качества программного обеспечения, метрики оценки качества программного обеспечения, Redmine.

Актуальность

Качество программного обеспечения (ПО) является критически важным в системах специального и двойного назначения, в которых ущерб от ошибок может быть весьма велик. Под термином «специальное программное обеспечение» (СПО) в данной работе понимается ПО, обеспечивающее поддержку повседневной и боевой деятельности силовых ведомств Российской Федерации. Безопасность и надежность такого ПО, помимо стандартных процедур авторизации и аутентификации, дополняется процедурами обеспечения изолированного хранения и обработки данных группами пользователей, обладающих различными правами.

В настоящее время [1-3] автоматизация процесса разработки ПО базируется на системах контроля исполнения задач, системах контроля версий, системах управления ошибками (баг-трекинг), системах управления тестированием и системах сборки и развертывания программного обеспечения. В ПАО «Интелтех» для управления проектами и задачами используется система с открытым исходным кодом *Redmine*, которая относится к системам постановки и контроля исполнения задач. Проведенный авторами анализ рынка средств управления разработкой [4], [5] программного обеспечения, в частности расширений (плагинов) для *Redmine*, показывает отсутствие средств анализа уровня зрелости ПО, что обуславливает актуальность задачи разработки и реализации такого модуля.

Постановка задачи

Рассмотрим основные особенности системы *Redmine* и возможности ее использования на предприятии. Жизненный цикл задач в ПАО «Интелтех» в терминологии *Redmine* приведен на рис. 1.

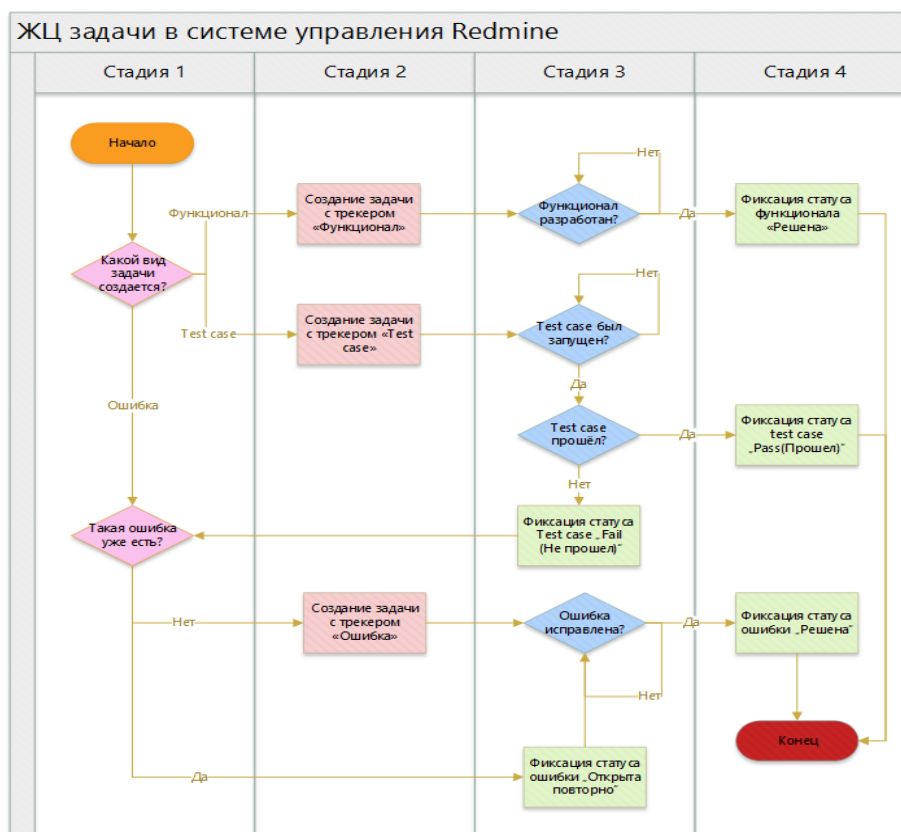


Рис. 1. Схема жизненного цикла задачи в системе *Redmine*, используемая ПАО «Интелтех»

На основании спецификации требований руководитель проекта создает задачи вида (трекера) «Функционал». Разработчики-исполнители, реализовав задачу, выставляют статус «Решена» (рис. 2).

<input type="checkbox"/>	230	Функционал	Новая	Низкий	Добавить отладочную информацию на DCS сервер	Иван Горбачёв	10.06.2019 15:38	...
<input type="checkbox"/>	227	Функционал	Решена	Нормальный	Рефакторинг взаимодействия с подсистемой CRM	Павел Иванов	10.06.2019 13:40	...
<input type="checkbox"/>	215	Функционал	Новая	Нормальный	Разработка документации и описания компонента CRM	Павел Иванов	22.05.2019 17:40	...

Рис. 2. Примеры задач с трекером «Функционал»

По мере реализации функционала производится тестирование. В спецификации требований указывается перечень необходимых для проверки тестовых наборов. Тестовый набор (*test case*), представляет собой список необходимых действий, ожидаемый и фактический результат. Тесты также оформляются в виде задач трекера «Тест». Задача считается исполненной, когда соответствующий тест пройден. Если тестовый набор не пройден, то создается новая задача с трекером «Ошибка». После чего проверяется ее исправление. Все тестовые наборы запускаются каждый раз при необходимости проверки нового функционала. Зачастую пройденный тестовый набор при внесении или изменении функционала может указывать на появление дефектов. В этом случае ошибка, которая уже была исправлена, повторно открывается, т. е. в отношении её устанавливается статус «Открыта повторно».

Как было указано, *Redmine* в типичном варианте развертывания является инструментом контроля исполнительской дисциплины. Задача интегральной оценки степени зрелости программного обеспечения, решаемая средним и верхним звеном управления, коробочной версией *Redmine* не решается. Однако гибкая, настраиваемая архитектура системы позволяет создавать модули-расширения *Redmine* для решения указанной задачи.

Разработка прототипа модуля

В рамках прототипа модуля были реализованы группы внутренних и внешних метрик надежности стандарта *ISO 9126* [6-10] (см. табл.1).

Таблица 1 – Примеры внутренних и внешних метрик надежности

Виды метрик	Формула расчета	Исходные данные
Внутренние метрики	Адекватность теста	$X = A/B$ A = Число тест-кейсов, разработанных в тест-плане. B = Количество требуемых по спецификации требований тест-кейсов (согласно со спецификацией требований).
	Коэффициент отказов	$X = A/B$ A = Число исключений, явно предотвращенных сначала на этапе проектирования, потом на этапе разработки. B = Общее число исключений, которое необходимо учитывать (согласно со спецификацией требований).
	Способность к предотвращению некорректных действий	$X = A/B$ A = Число некорректных действий, заранее разработанных для предотвращения. B = Число задач, которые должны быть разработаны для предотвращения некорректных действий (согласно со спецификацией требований).
	Восстанавливаемость	$X = A/B$ A = Число <i>restorability</i> (восстанавливаемости) тестов, которые были решены. B = Общее число <i>restorability</i> (восстанавливаемости) тестов, которые были прописаны в спецификации требований (согласно со спецификацией требований).
	Соответствие надежности	$X = A/B$ A = Количество правил, которые соблюдаются. B = Количество общих правил, стандартов и конвенций, которые применяются к системе (согласно со спецификацией требований).
Внешние метрики	Оцениваемая плотность скрытых ошибок	$X = \frac{ A_1 - A_2 }{B}$ A ₁ = Планируемое количество ошибок. A ₂ = Количество реально обнаруженных ошибок. B = Количество строк кода.
	Плотность ошибок по отношению к тест-кейсам	$X = A_1/A_2$ A ₁ = Количество обнаруженных ошибок во время выполнения тест-кейсов. A ₂ = Количество выполненных тест-кейсов.
Внешние метрики	Плотность ошибок	$X = A_1/B$ A ₁ = Количество обнаруженных ошибок. B = Количество строк кода.
	Разрешение отказов	$X = A_1/A_2$ A ₁ = Количество отказов, которые удалось разрешить, и они больше никогда не появлялись. A ₂ = Общее количество фактически обнаруженных ошибок.
	Обнаружение ошибок	$X = A/B$ A = Число обнаруженных ошибок. B = Планируемое число ошибок (вводит менеджер проекта в паспорт проекта).
	Устранение ошибок	$X = A/B$ A = Число устранённых ошибок на этапах проектирования и реализации. B = Число ошибок, найденных во время проверки ПО.
	Тестовое покрытие	$X = A/B$ A = Количество фактически выполненных тестов, которые отображают сценарий эксплуатации во время испытаний. B = Количество тестов, которые необходимо выполнить, чтобы удовлетворить требованиям.
	Завершенность испытаний	$X = A/B$ A = Количество пройденных во время испытаний или эксплуатации тестовых примеров. B = Количество тестовых примеров, которые необходимо выполнить, чтобы удовлетворить требованиям.
	Коэффициент аварийных отказов	$X = 1 - A/B$ A = Количество аварийных отказов. B = Количество отказов.
	Коэффициент отказов	$X = A/B$ A = Количество случаев критических и серьезных отказов, которых удалось избежать, в сравнении с тестовыми наборами, направленными на проверку типовых ошибок. B = Количество выполненных тестовых наборов, направленных на проверку типовых ошибок, которые могут привести к отказам.
	Способность к предотвращению некорректных действий	$X = A/B$ A = Количество случаев критических и серьезных отказов, которых удалось избежать. B = Количество выполненных тестовых наборов, направленных на проверку некорректных действий, которые могут привести к отказам.

Архитектура модуля, реализующего приведенный набор метрик, показана на рис. 3. Пользователям модуля соответствуют роли с назначенными правами в системе *Redmine*. Авторизация и аутентификация пользователей решается средствами службы каталогов *LDAP*. Графический интерфейс модуля предоставляет пользователям функции выбора проектов для оценки, расчета метрик, формирования отчетов и поддержки принятия решений по оценке степени зрелости программного продукта. Ядро обработки является связующим звеном между всеми частями модуля. Он получает запрос на вывод рассчитанных метрик, посылает запрос в базу данных (БД) *Redmine*, пересылает данные в Сервер расчета метрик и представляет результаты обработки пользователю. Сервер расчета метрик хранит перечень метрик и осуществляет их расчет: получив на вход данные по проектам и настройки метрик, он рассчитывает выбранные метрики и передает результаты расчетов ядру обработки. В БД локальных параметров хранятся данные по проектам, которых нет в *Redmine* и их необходимо вводить вручную. Примерами таких параметров являются: количество строк кода и предполагаемое количество ошибок.

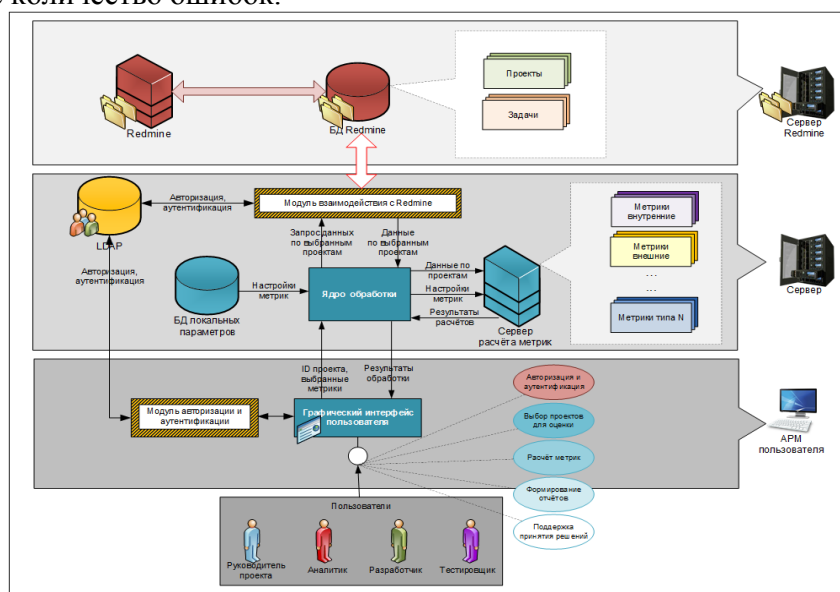


Рис. 3. Схема архитектуры решения

Как уже говорилось ранее, для прототипа модуля были выбраны метрики оценки надежности специального программного обеспечения. Помимо надежности, *ISO 9126* включает в себя еще 5 типов метрик: функциональность, удобство использования, производительность, удобство сопровождения и переносимость. В сумме все эти типы составляют более 80 метрик. Для упрощения добавления в будущем новых метрик, было принято решение использовать компонентный подход в разработке. При таком подходе каждая метрика является отдельным компонентом. На рис. 4 приведена схема сервера расчета метрик. На данном этапе прототип модуля не предусматривает такого пользователя, как администратор, но в будущем планируется его добавить.

Администратор сможет добавлять новые метрики через клиентское приложение пополнения репозитория. Новая метрика обрабатывается компонентом «Менеджер пополнения репозитория» и добавляется в репозиторий метрик. В клиентском и серверном компонентах происходит взаимодействие с помощью сервера расчета метрик с внешними подсистемами, хранящими данные по проектам. Данными системами являются *Redmine*, *TestLink*, *Github* и прочие. Клиентский компонент отправляет запрос на вывод списка метрик на серверный компонент, а также вызывает отдельные метрики. Серверный компонент взаимодействует с компонентом «планировщик задач», отправляя ему идентификатор метрики и ее параметры, взамен получая результаты расчета. Планировщик задач узнает способ расчета метрики в репозитории и запускает у себя ее расчет.

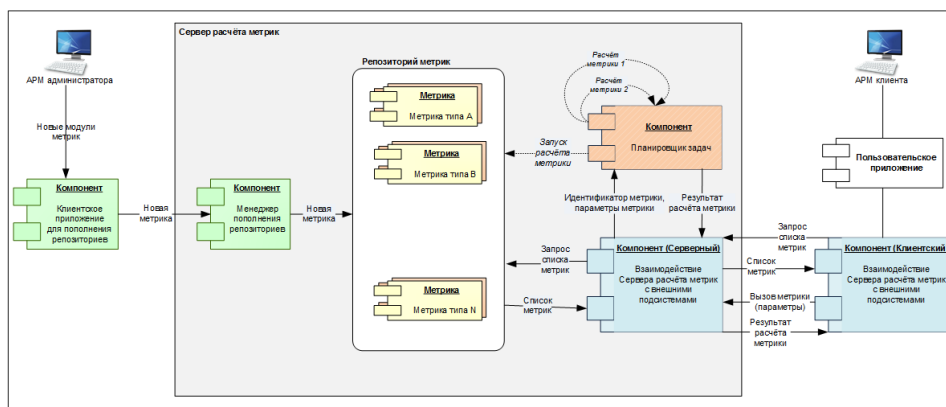


Рис. 4. Схема сервера расчета метрик

Выводы

По результатам пробной эксплуатации прототипа модуля сделаны следующие выводы:

1) модуль является полезным инструментом в случае аккуратного описания постановок задач и достаточно высокой исполнительской дисциплины в системе управления задачами и проектами *Redmine*;

2) перечень реализуемых метрик охватывает только стадию проектирования и разработки СПО. Оценка зрелости на стадии развертывания и эксплуатации требует интеграции с системой управления пользовательскими заявками и системами мониторинга локальных сетей.

Примеры экранных форм разработанного прототипа можно увидеть на рис. 5.

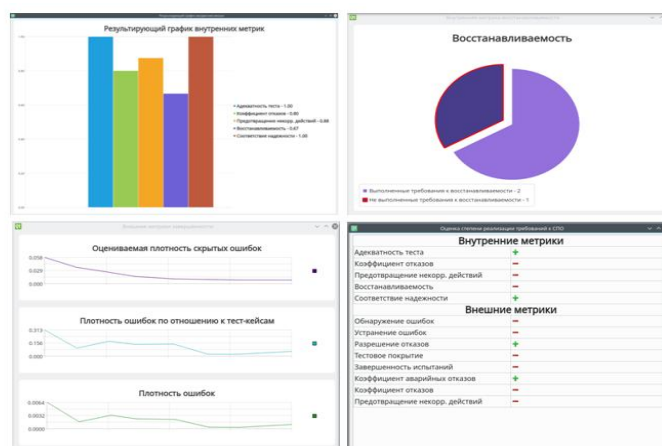


Рис. 5. Примеры работы модуля

Литература

1. Pitterman B. Telcordia technologies: the journey to high maturity. IEEE Softw. 2000.
2. Yamamura G. Software process satisfied employees. IEEE Softw, no September/October. 1999.
3. Sommerville I. Software Engineering. 9th ed. UK: Addison Wesley. 2010.
4. Staples M, Niazi M. Systematic review of organizational motivations for adopting CMM-based SPI. Inform Softw Tech J. 2008.
5. CMMI® for Development, Version 2.0, 2018.
6. Zahran S. Software Process Improvement: Practical Guidelines for Business Success. USA: Addison-Wesley Professional; 1998.
7. Paulk MC. The Capability Maturity Model: Guidelines for Improving the Software Process (SEI Series in Software Engineering). USA: Addison-Wesley Pub. Co. 1995.
8. Honda N, Yamada S. Empirical analysis for high quality software development. Am J Oper Res. 2012.
9. Maibaum T, Wassung A. A product-focused approach to software certification. Computer. 2008.
10. Rodríguez M, Oviedo JR, Piattini M. Evaluation of software product functional suitability: a case study. Software Quality Professional; Milwaukee. 2016.

Статья поступила 15 июля 2019 г.

Информация об авторах

Ли Юлия Евгеньевна – Инженер-программист ПАО «Интелтех». Область научных интересов: мониторинг информационных ресурсов; сбор и обработка информации. Тел.: +7 (812) 295-50-69. E-mail: yueli@stud.eltech.ru.

Васильев Николай Владимирович – Начальник сектора ПАО «Интелтех». К.т.н. Область научных интересов: корпоративные информационные системы; распределенные системы обработки информации и управления. Тел.: +79111202622. E-mail: gandvik1984@gmail.com.

Горбачев Иван Михайлович – Начальник сектора ПАО «Интелтех». Область научных интересов: специальные системы обработки информации и управления. Тел.: +7 (812) 295-50-69. E-mail: gim.spb@gmail.com.

Прокопович Юлия Владимировна – Начальник сектора ПАО «Интелтех». Область научных интересов: специальные системы обработки информации и управления. Тел.: +7 (812) 295-50-69. E-mail: yprokopovich@yandex.ru.

Раков Игорь Васильевич – Начальник научно-исследовательского отделения ПАО «Интелтех». К.т.н. Область научных интересов: корпоративные информационные системы; управление качеством разработки информационных систем. Тел.: +7 (812) 295-50-69. E-mail: i_rakov@mail.ru.

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

Module for evaluating the implementation of special software requirements

Y.E. Li, N.V. Vasiliev, I.M. Gorbachev, Y.V. Prokopovich, I.V. Rakov

Annotation. Problem statement: Modern special automated systems are complex hardware and software systems, the creation of which is associated with a high workload for personnel not only at the design and development stages, but also during deployment and commissioning. The main factor of high load are errors made at the design and development stages. To automate control processes for fixing bugs, systems for testing automation, bug tracking and development process control are widely used. However, most of these tools are tools of developers and lower managers. There are no tools for integrated assessment of the degree of maturity of special software, although the usefulness of such software is undoubted. **Objective:** to develop a prototype module for evaluating the implementation of requirements for special software. **Used methods:** The module was based on the methods of the international standard ISO, specified by the requirements for special software. **Novelty and practical result:** consists in automating the process of expert evaluation of the quality of open source software both from the point of view of developers and from the point of view of end users. The proposed module allows you to increase the degree of compliance of protected software products with the functional requirements.

Keywords: software quality, software quality assessment models, software quality assessment metrics.

Information about Authors

Li Y.E. – Software engineer of PJSC «Inteltech». Research interests: monitoring of information resources; collection and processing of information. Тел.: +7 (812) 295-50-69. E-mail: yueli@stud.eltech.ru.

Vasiliev N.V. – Head of Sector of PJSC «Inteltech». Ph.D. Research interests: corporate information systems; distributed information processing and management systems. Тел.: +79111202622. E-mail: gandvik1984@gmail.com.

Gorbachev I.M. – Head of Sector of PJSC «Inteltech». Research interests: special information processing and management systems. Тел.: +7 (812) 295-50-69. E-mail: gim.spb@gmail.com.

Prokopovich Y.V. – Head of the sector of PJSC «Inteltech». Research interests: special information processing and management systems. Тел.: +7(812)295-50-69. E-mail: yprokopovich@yandex.ru.

Rakov I.V. – Head of Research and Development of PJSC «Inteltech». Ph.D. Research interests: corporate information systems; quality management of the development of information systems. Тел.: +7(812)295-50-69. E-mail: i_rakov@mail.ru.

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

Для цитирования: Ли Ю.Е., Васильев Н.В., Горбачев И.М., Прокопович Ю.В., Раков И.В. Модуль оценки реализации требований к специальному программному обеспечению // Техника средств связи. 2019. № 4 (148). С. 45-50.

For citation: Li Y.E., Vasiliev N.V., Gorbachev I.M., Prokopovich Y.V., Rakov I.V. Module for evaluating the implementation of special software requirements // Means communication equipment. 2019. № 4 (148). P. 45-50. (In Russian).

УДК 621.396.4; 519.876.5

О современных форматах обмена данными между компонентами распределенной вычислительной системы

Шаптала В.С., Солнцев Д.В.

Аннотация. В статье ставится задача обосновать выбор способа обмена данными в распределенной вычислительной системе. Целью работы является исследование ключевых технологий, которые реализуют основные способы обмена данными и находятся в открытом доступе. При моделировании используются методы кроссплатформенного программирования. Новизна обзора состоит в обобщении особенностей использования различных форматов обмена данными, которые используются при построении распределенных вычислительных систем. К результатам работы следует отнести сопоставление двух подходов взаимодействия между распределенными компонентами: создание собственных проприетарных решений и использование открытых реализаций форматов обмена данными, а также разработку тестового приложения с использованием кроссплатформенного фреймворка Qt для анализа основных способов обмена данными. Результаты работы приложения приведены на целевых операционных системах: Windows (Windows 10) и Linux (Astra Linux 8.2 и Alt Linux 1.6). Практическая значимость работы заключается в оценке характеристик, позволяющих осуществить выбор того или иного формата обмена данными: быстрдействие, размер используемой памяти и особенности интеграции. Полученные оценки позволяют выбрать технологию обмена данными в распределенной вычислительной среде в зависимости от требований, предъявляемых прикладной областью. Доступность реализаций основных форматов обмена данными в виде библиотек, распространяемых по свободным лицензиям и/или исходного кода, находящегося в открытом доступе, позволяют применять соответствующие технологии в распределенных системах, компоненты которых могут находиться под управлением распространенных операционных систем и аппаратных платформ.

Ключевые слова: распределенные вычислительные системы, XML, JSON, PROTOBUF, CBOR.

Введение

Многие современные телекоммуникационные системы строятся на основе распределенных вычислительных систем. Часто это связано с тем, что составные части системы делаются различными производителями или различными подразделениями в составе одной организации. Например, протокол передачи данных, модулятор и возбудитель можно реализовать в одной программе, а можно в трех разных, которые могут выполняться на одном или разных вычислительных комплексах и, возможно, под управлением различных операционных систем. Распределенный подход упрощает разработку и поддержку системы, но требует использования эффективных форматов обмена данными между компонентами.

В статье будут рассматриваться вычислительные системы, компоненты которых взаимодействуют между собой только через сеть *Ethernet*.

Проприетарные стеки протоколов

В этом случае создается стек протоколов, где описывается всё информационно-логическое взаимодействие. В наихудшем случае это приводит к полному отказу от устоявшихся протоколов сетевого и транспортного уровней (например, *TCP/IP*) и к созданию одного протокола с поддержкой функций прикладного уровня. Этот путь очень дорогой как с точки зрения программирования, так и с точки зрения разработки и тестирования. При подобном подходе очень сильно усложняется построение аппаратуры и возникает необходимость создания анализаторов проприетарных протоколов, что в конечном итоге приводит к существенному увеличению стоимости и длительности разработки. В случае, когда время необходимое для разработки, тестирования и документирования стека протоколов превышает время существования команды разработчиков, задействованной в этой работе, то результат работы может стать непредсказуемым. Дополнительно к вышеперечисленным недостаткам следует обратить внимание на две проблемы:

очень часто при работе в таких условиях приходится прибегать к методам реверс-инжиниринга;

составители протокола часто не предусматривают возможность введения дополнительных полей в произвольном месте структуры данных без необходимости обновления всего программного обеспечения в распределенной вычислительной среде.

Единственным достоинством этого подхода является закрытие рынка, поскольку для работы в этих условиях сторонним компаниям нужен доступ к логически завершенной конструкторской документации, получение которой может быть затруднительным, а иногда и невозможным.

В противовес этому подходу можно противопоставить использование многократно апробированных открытых и платформенно независимых протоколов обмена данными прикладного уровня, использование которых может существенно упростить построение и сопровождение программного обеспечения. Важным условием для выбора анализируемых технологий является то, что структуры данных в разных компонентах могут меняться, и это не должно приводить к непредсказуемому поведению распределенной вычислительной среды.

Форматы представления данных в таких протоколах могут быть текстовыми и бинарными. Данная статья посвящена анализу наиболее актуальных и широко используемых представителей данных типов форматов.

Extensible markup language

XML – язык разметки, определяющий правила представления данных в текстовом виде. В ходе разработки языка к нему предъявлялись следующие требования: читаемость человеком и машиной, простота использования, расширяемость и способность быть использованным в широком спектре задач по организации обмена информацией в сети Internet.

XML появился в 1998 г. как спецификация W3C [1] и сразу приобрел популярность: его стали широко использовать при написании API для WEB приложений, а также для работы приложений с БД. Впоследствии, консорциумом W3C было создано несколько рабочих групп по развитию языка: было выпущено несколько сопутствующих стандартов (напр. RFC 7303 [2]), официальная версия спецификации *XML* 1.0 от 26.11.2008 г.

Библиотеки для работы с данными в формате *XML* существуют для всех распространенных языков программирования. Они включают в себя классы и методы для работы с *XML* документами: формирование, разбор и преобразование в иные типы данных.

На основе и с использованием *XML* стали появляться и другие технологии: *SOAP*, *XML-RPC* и пр., однако с 2009 г. все рабочие группы W3C, связанные с данной технологией, были ликвидированы и новых разработок по развитию и поддержке языка не ведется. В настоящий момент *XML* в значительной степени утратил свои позиции, уступив более легковесному формату *JSON*.

Исходное сообщение в формате *XML* представляет из себя разметку, схожую с *HTML*, где пользовательские данные заключены между открывающим и закрывающими тэгами:

```
<tag> value </tag>.
```

После сериализации сообщение представлено в виде байтового массива с исходным сообщением, каждый символ которого закодирован в соответствии со стандартом *Unicode*.

Java script object notation

JSON – популярный текстовый формат обмена данными, появившийся, примерно, в 2002 году [3]. Пришел из мира *WEB*, где в том время стояла задача разработки простого, более легковесного, чем *XML*-формата в условиях общения между распределенными клиентом и сервером. В *WEB* сфере сервером является *http* сервер, который реализует API

(как правило, *REST*) для доступа клиентов – либо получение *html*-странички, либо для получения данных от удаленного сервиса поверх *http* протокола. Так как протокол *http* является *stateless* протоколом (сервер отвечает на текущий запрос клиента и не знает о предыдущей истории общения), то формат *JSON* оказался удачным решением поставленной задачи. С тех пор, *JSON* получил признание и распространение не только в *WEB* сфере, но и в качестве внутреннего формата обмена данными между компонентами распределенных систем более широкого спектра, в том числе при организации обмена данными между приложениями и базами данных.

В настоящий момент существует два документа, регламентирующих обмен сообщениями в *JSON*-формате: *RFC 8259* [4] и *ECMA-404* [5]. Реализации стандарта, в силу большой популярности формата, существуют для большинства языков программирования и включают в себя классы и методы для работы с *JSON*: формирование сообщения, разбор и преобразование в иные типы данных.

Формат представляет закодированное сообщение в читаемом для человека виде, состоящее из пар «ключ-значение». Ключом, при этом, является текстовая строка, а значением может быть строка, число, переменная типа *bool*, и некоторые другие.

Сериализованное сообщение представлено в виде массива байт, где каждый символ исходного сообщения кодируется соответствующим ему символом стандарта *UTF-8*. В зависимости от реализации, могут быть предоставлены дополнительные возможности по сериализации *JSON* сообщения. Например, во фреймворке *Qt* имеется возможность сформировать байтовый массив в бинарном виде. Такое представление фреймворк использует для своих внутренних нужд.

Google protocol buffers

Google Protocol Buffers (Protobuf) – технология/протокол сериализации данных в бинарном формате, разрабатывается и поддерживается корпорацией *Google* [6]. Продукт с открытым кодом распространяется по лицензии *BSD*, появившись в 2008 г., успел зарекомендовать себя как простое, удобное решение для описания формата передаваемых данных, обладающее высокой производительностью при сериализации/десериализации сообщений. В 2010 году компания *Twitter* объявила о переходе на *protobuf* для хранения своих коротких сообщений (т.н. «твитов»).

Структура сообщений описывается в отдельных файлах с расширением «*proto*». Синтаксис *proto* файлов *C*-подобный включает описание всех полей сообщения с указанием их типов, названий, значений по умолчанию (опционально). Формируемые *proto* файлы платформенно-независимые, легко читаемые человеком и редактируемые при необходимости введением/удалением полей сообщения. В процессе развития технологии синтаксис описания, *proto* файлы разделились на 2 независимых версии: *proto2* и *proto3*. Основными отличиями *proto3* от *proto2* являются: отсутствие квалификаторов *required/optional* перед типом данных и отсутствие возможности задавать значение полей по умолчанию (определены заранее самим *protobuf*).

Сформированные *proto* файлы компилируются отдельным компилятором *protoc*. На выходе компилятор *protoc* генерирует файлы, которые подключаются к проекту и используются для заполнения полей данными, сериализации и десериализации сообщения. Кроме того, сгенерированные файлы предоставляют некоторые служебные методы для работы с сообщением.

Присутствуют имплементации под разные языки программирования: *C++*, *C#*, *Java*, *Go*, *Python*. Для языка *C* существует отдельная версия *protobuf-c* со своим компилятором «*proto*» файлов *protoc-c* и рантаймом, написанных на языке *C*. Особенности распространения *google protobuf* и подключение необходимых файлов к проекту будут описаны далее в статье.

Concise binary object representation

CBOR – бинарный формат представления данных [7], несмотря на свою относительную молодость (стандарт, описывающий данный формат, появился в 2013 году), уже успел завоевать определенную популярность и имеет множество имплементаций на разных языках программирования: *C/C++*, *Java*, *Python*, *JavaScript* и другие. Библиотеки по работе с *CBOR* включают в себя классы/методы для формирования, разбора (парсинга) принятого сообщения.

К *CBOR* проявляют интерес и некоторые крупные *IT* компании. В частности, одна из реализаций стандарта, под названием *tinyCBOR*, разрабатывается и поддерживается корпорацией *Intel*.

Как и все бинарные форматы, сериализованное сообщение в формате *CBOR* представляет из себя закодированный, в соответствии со стандартом *RFC 7049* [8] массив байт в нечитаемом для человека виде, но содержащий в себе информацию о типах добавленных данных в качестве дополнительной информации, чем и обусловлены накладные расходы на формирование такого сообщения. Тем не менее, данные накладные расходы оказываются почти всегда ниже, чем накладные расходы при передаче информации в текстовом виде, что будет продемонстрировано далее в тексте статьи.

Особенностью формата является его ориентация на схожую с *JSON* логику формирования сообщения в виде массива пар «ключ-значение». Ключ, при этом, может задаваться как строкой (тип *Text string*), так и в виде тега, который пользователь (прикладной разработчик) может определить сам.

Описание тестового окружения

Тестирование происходит на виртуальных операционных системах, запущенных с помощью кроссплатформенной системы управления виртуализацией *oVirt* версии 4.3.2.1. Параметры гостевых операционных систем сведены в табл. 1. Состав серверного оборудования: *Intel E5-2650*; 20 MB; 2,0 GHz (2,8 GHz) / 12*8 GB; *DDR3* 1066 MHz. Дисковая подсистема серверного оборудования не имеет большого значения, поскольку для рассматриваемых объемов данных она практически не используется.

Таблица 1 – Целевые операционные системы

Guest OS, x64	Windows 10	Alt Linux 8.2	Astra Linux 1.6
Compiler, x64	MinGW 7.3	GCC5	GCC5
CPU	E312xx; 2,0 GHz	E312xx; 2,0 GHz	E312xx; 2,0 GHz
RAM, GB	2	2	2

Тестовое приложение написано на языке программирования *C++* с использованием кроссплатформенного фреймворка *Qt* версии 5.12.1 в интегрированной среде разработки *QtCreator* версии 4.8.1. Все результаты получены для сборки приложений в режиме «*Release*». Далее рассмотрим возможности, предоставляемые фреймворком *Qt* и сторонними библиотеками, которые были использованы в тестовом приложении для работы со сравнимаемыми в данной статье форматами представления данных.

В *Qt* реализовано два подхода для работы с *XML* документами. В первом, существует модуль *xml*, в котором *XML* документ представлен в виде дерева *DOM*. В данный модуль входят классы, обеспечивающие работу с *DOM* – добавление, удаление, модификация поддеревьев/листьев (теги и данные). Во втором подходе, используются классы *QXmlStreamWriter* и *QXmlStreamReader*, входящие в модуль *Qt core*. Данные классы позволяют реализовать простую последовательную запись и разбор элементов (тегов и их значений), составляющих *XML* документ. Этот подход и был использован в тестовом приложении.

Для работы с форматом *JSON* в *Qt* существуют целый набор вспомогательных классов, основными из которых являются: *QJsonDocument*, *QJsonObject*, *QJsonValue*,

QJsonArray. У класса *QJsonDocument* имеются методы, используемые для сериализации/десериализации сообщений. В тестовом приложении поля структуры заранее известны, поэтому значения полей извлекаются непосредственно из сериализованного сообщения посредством задания нужного ключа. Например:

```
QJsonObject obj = doc.object();
msg->id = obj["MSG_ID"].toVariant().toUInt();
```

Существуют и иные способы построения парсеров, включая последовательный обход байтового массива сериализованного сообщения.

Google Protobuf является внешней библиотекой, поэтому ее необходимо либо скомпилировать из исходных кодов (распространяются бесплатно по лицензии *BSD*), либо использовать уже скомпилированную версию.

Для тестового приложения, запускаемого под ОС *Windows* скомпилированная библиотека версии 3.7.1 была скачана через утилиту *MSYS2*, для ОС *Linux* были скачаны исходные коды библиотеки той же версии 3.7.1, затем скомпилированы стандартными для языка программирования *C++* средствами сборки приложений: *configure, make, make install*.

Кроме самой библиотеки необходимо сгенерировать компилятором *protoc* (входит в комплект поставки *google protobuf*) подключаемые файлы со структурой сообщения. Сериализация/десериализация происходит путем вызова функций библиотеки *protobuf*.

Начиная с версии 5.12.1. в *Qt* входит библиотека для работы с *CBOR* под названием *tinyCBOR*. Для облегчения работы с библиотекой разработчиками *Qt* были написаны оберточные классы, скрывающие низкоуровневые интерфейсы *tinyCBOR*. Этими классами являются классы *QCbostreamReader* и *QCbostreamWriter*. Подключаются с модулем *core*. Класс *QCbostreamReader* был использован в тестовом приложении для формирования сообщения в формате *CBOR*, а при помощи класса *QCbostreamReader* был написан парсер для восстановления исходного сообщения из сериализованного в формате *CBOR*. Парсинг происходит в виде последовательного прохода по массиву байт сериализованного сообщения в целях поиска нужных идентификаторов, обозначающих поля структуры (ими могут выступать строки или пользовательские теги).

Сравнение форматов обмена данными

Сравнение рассматриваемых протоколов будет проводиться на структуре данных с длиной информационного блока 16, 512 или 2048 значений:

```
struct Msg
{
    quint32 id = 11;
    quint32 len;
    quint32 time;
    quint32 service = 500;
    float data[16, 512 или 2048];
    quint32 crc = 12345678;
};
```

Для тестирования работы приложения с использованием технологии *google protobuf* необходимо предварительно описать структуру сообщения в файле «*proto*». Для корректного сравнения форматов между собой структура сообщения в «*proto*» файле должна повторять поля структуры *Msg*:

```
syntax = "proto3";
message ProtoMsg {
    uint32 id = 1;
    uint32 len = 2;
    uint32 time = 3;
    uint32 service = 4;
    repeated float data = 5;
```

```
uint32 crc = 6;
```

```
}
```

Часть полей структур данных *Msg* и *ProtoMsg* заполняется статически, а часть динамически:

поле *time* заполняется текущим временем на момент тестирования;

поле *len* равно размеру структуры с учетом длины информационного блока;

поля *data* заполняются как случайные данные в формате с плавающей точкой в диапазоне от 0.0 до 1000.0.

Начальное заполнение полей очень важно для корректного сравнения полученных результатов, поскольку в различных форматах обмена данными в сериализованном потоке для представления информации может потребоваться различное количество байт. Важно обратить внимание, что для хранения одного элемента информационного блока всегда требуется 32 бита. Размеры входных и выходных данных рассматриваемых форматов представлены в табл. 2.

В связи с тем, что анализируемые форматы обмена данными имеют текстовое и бинарное представление сравнение проводилось с использованием компрессии данных. Для всех сравниваемых форматов получаемый после сериализации исходного сообщения массив байт был сжат при помощи функции *qCompress()* с уровнем сжатия, заданным по умолчанию (*ZLIB_DEFAULT_COMPRESSION*), и восстановлен вызовом функции *qUncompress()*. Данные функции являются обертками над функциями библиотеки *zlib* 1.2.11, входящей в состав *Qt* 5.12.1.

Таблица 2 – Эффективность представления данных

Формат	Длина блока данных	Исходный размер, байт	Размер сообщения после сериализации, байт		Накладные расходы по отношению к исходному сообщению, %	
				Компрессия		Компрессия
XML	16	84	294	200	250,00	138,10
	512	2068	4760	1776	130,17	-14,12
	2048	8212	18584	6494	126,30	-20,92
JSON	16	84	242	157	188,10	86,90
	512	2068	4708	1721	127,66	-16,78
	2048	8212	18532	6433	125,67	-21,66
Google protobuf	16	84	84	97	0,00	15,48
	512	2068	2070	1538	0,10	-25,63
	2048	8212	8214	5757	0,02	-29,90
CBOR	16	84	118	115	40,48	36,90
	512	2068	2599	1641	25,68	-20,65
	2048	8212	10279	6065	25,17	-26,14

Скорость работы для выбранных технологий указана в табл. 3. Быстродействие замеряется для всех целевых операционных систем. В связи с тем, что после компрессии размер сообщения может немного изменяться, в таблице указано среднее значение для 10 запусков. Необходимо обратить внимание на то, что измерения проводятся в многозадачных операционных системах, поэтому из результатов экспериментов исключались пиковые значения, которые могли быть вызваны, например, работой антивирусного программного обеспечения или процессов с высоким приоритетом.

Полученные результаты можно усреднить для всех рассматриваемых операционных систем (см. табл. 4), поскольку эксперименты выполняются на одинаковой аппаратной платформе. Эта оценка является нижней границей для оценки быстродействия рассматриваемых алгоритмов. Для более точных оценок надо настраивать операционные системы так, чтобы получить похожую загрузку фоновыми службами, что в рамках этой работы не делалось.

В табл. 5 приведен размер кода, необходимого для сериализации и десериализации. Эти оценки применимы только для рассматриваемой структуры данных и получены при

программировании на языке C++. Дополнительно в этой таблице указана степень интеграции с фреймворком Qt.

Таблица 3 – Быстродействие технологий Windows 10/Alt Linux 8.2/Astra Linux 1.6

Формат	Длина блока данных	Время работы кодера, мкс	Время работы декодера, мкс	Время работы компрессора, мкс	Время работы декомпрессора, мкс
XML	16	33/25/26	45/34/43	33/61/89	15/10/11
	512	240/220/198	330/279/287	365/319/327	51/53/49
	2048	770/780/785	1070/1084/1079	1290/1450/1387	127/153/146
JSON	16	30/19/25	21/19/24	30/70/96	12/10/12
	512	160/157/168	175/195/197	290/157/350	40/51/54
	2048	631/636/665	780/760/795	1191/1430/1390	121/156/161
Google protobuf	16	2/1/1	2/1/1	24/59/81	5/1/3
	512	4/2/2	3/1/2	135/145/177	34/25/25
	2048	6/3/3	4/3/3	452/326/337	88/68/64
CBOR	16	7/4/5	76/16/75	31/61/85	4/2/3
	512	27/20/22	119/107/125	250/200/235	38/34/34
	2048	81/73/85	185/199/310	1280/634/740	96/94/110

Таблица 4 – Усредненное быстродействие технологий

Формат	Длина блока данных	Время работы кодера, мкс	Время работы декодера, мкс	Время работы компрессора, мкс	Время работы декомпрессора, мкс
XML	16	28	41	61	12
	512	219	299	337	51
	2048	778	1078	1376	142
JSON	16	25	21	65	11
	512	162	189	266	48
	2048	644	778	1337	146
Google protobuf	16	1	1	55	3
	512	3	2	152	20
	2048	4	3	372	73
CBOR	16	5	56	59	3
	512	23	117	228	35
	2048	80	231	885	100

Таблица 5 – Размер кода для сериализации и десериализации данных

Формат	Степень интеграции с Qt	Количество строк кода	
		Кодер	Декодер
XML	Входит в модуль Qt core	38	33
JSON	Входит в модуль Qt core	25	19
Google Protobuf	Отдельная библиотека	1	1
CBOR	Входит в модуль Qt core	26	61

Выводы

В распределенных вычислительных системах существует гораздо большее количество форматов обмена данными, чем рассмотрено в этой статье. Их многообразие вызвано широким спектром требований, которые к ним предъявляются. Такими требованиями являются как рассмотренные выше быстродействие, эффективность представления данных, степень интеграции со средой разработки, так и дополнительные требования, например, патентная чистота, распространенность, необходимость поддержки старого парка программного обеспечения и многое другое, поэтому рекомендовать формат вне контекста прикладного процесса практически невозможно.

При проектировании современных систем целесообразно использовать бинарные форматы представления данных. Если на прикладном уровне в них инкапсулируется

большое количество повторяемых бинарных данных или текстовых сообщений и требуется минимизировать объем трафика, то рекомендуется использовать компрессию данных.

Допустимы ситуации, когда в качестве исходной точки берется общеизвестный формат, который потом масштабируется исходя из текущих потребностей, но это целесообразно только в том случае, когда у компании достаточно ресурсов для поддержания сложных и теперь уже проприетарных решений.

Литература

1. Extensible Markup Language (XML). URL: <https://www.w3.org/XML/> (accessed 01 Apr. 2019).
2. RFC 7303 URL: <https://tools.ietf.org/html/rfc7303> (accessed 08 Apr. 2019).
3. Java Script Object Notation. URL: <https://www.json.org> (accessed 01 Apr. 2019).
4. RFC 8259 URL: <https://tools.ietf.org/html/rfc8259> (дата обращения 01.04.2019).
5. ECMA-404. The JSON Data Interchange Syntax URL: <https://www.ecma-international.org/publications/standards/Ecma-404.htm> (accessed 08 Apr. 2019).
6. Protocol buffers are a language-neutral, platform-neutral extensible mechanism for serializing structured data. URL: <https://developers.google.com/protocol-buffers/> (accessed 01 Apr. 2019).
7. Concise Binary Object Representation. URL: <https://cbor.io/> (accessed 01 Apr. 2019).
8. RFC 7049 URL: <https://tools.ietf.org/html/rfc7049> (accessed 01 Apr. 2019).

Статья поступила 22 июля 2019 г.

Информация об авторах

Шаптала Василий Сергеевич – Начальник лаборатории ПАО «Интелтех». Кандидат технических наук.

Солнцев Денис Викторович – Инженер-программист.

Тел. 8(812)448-19-01 (доб.12-15). E-mail: shaptalavs@inteltech.ru.

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

On modern data exchange formats between components of distributed computing system

Abstract. *The article aims to justify the choice of data exchange format in distributed computing system. The purpose of the work is the study of key technologies that implement the main methods of data exchange and are publicly available. The simulation uses cross-platform programming methods. The novelty of this review is in summarizing the features of using various data exchange formats that are used in the construction of distributed computing systems. The results of the work should include a comparison of two approaches of interaction between distributed components: creating your own proprietary solutions and using open implementations of data exchange formats, also creating a test application using cross-platform framework Qt to analyze the main methods to exchange data between components of distributed system. The results of the work of test application are given on target operating systems: Windows (Windows 10) u Linux (Astra Linux 8.2 u Alt Linux 1.6). The practical benefit of the work is in assessing the characteristics that allow the choice of a particular data exchange format: speed, size of memory used and integration features. The estimates obtained allow us to choose a data exchange technology in a distributed computing environment depending on the requirements of the application area. The availability of implementations of main data exchange formats in the form of libraries distributed under free licenses and/or open source code allows the use of such technologies in distributed systems whose components could be run on most common operating systems and hardware platforms.*

Keywords: *distributed computing, XML, JSON, PROTOBUF, CBOR.*

Information about Authors

Shaptala Vasilij Sergeevich - Head of laboratory PJSC "Inteltech". Ph.D.

Solntsev Denis Viktorovich - Software engineer of PJSC "Inteltech".

Tel. 8(812)448-19-01 (12-15). E-mail: shaptalavs@inteltech.ru. Address: Russia, 197342, Saint-Petersburg, Kantemirovskaya street 8.

Для цитирования: Шаптала В.С., Солнцев Д.В. О современных форматах обмена данными между компонентами распределенной вычислительной системы // Техника средств связи. 2019. № 4 (148). С. 51-58.

For citation: Shaptala V.S., Solntsev D.V. On modern data exchange formats between components of distributed computing system // Means of communication equipment. 2019. NO 4 (148). P. 51-58. (In Russian).

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

УДК 621.396.4

Method of adaptive intellectual control of technical condition of radio-electronic systems

P.A. Budko, A.M. Vinogradenko, A.V. Mezhenov, V.E. Zarembo

Abstract. *At present, monitoring of technical state of complicated technical objects under different attacks and destabilizing factors, aging and technological dispersion of parameters is a crucial problem. Requirements to the quality, security, and reliability of complicated technical systems are consistently increased. In this chapter, we propose new method for adaptive control of technical states of radio-electronic systems. This approach is based on the interval complex estimation of parameters, use of knowledge base of critical and regular states, and also inner connections between the controlled parameters considering false negative result and false positive result. Multidimensional presentation of technical state of controlled systems is possible using the accurate monitoring of technical states of radio-electronic systems, increased accuracy and reliability of state identification, and extended possibilities of control and diagnostic equipment.*

Keywords: *Parameter estimation, Control, Radio-electronic system, Technical state, Knowledge base, Complex parameter evaluation.*

1 Introduction

Radio-Electronic Equipment (*REE*) is a part of modern technological systems in different industries of manufacturing electronics and electrical equipment. The importance and relative volume of *REE* in technical systems increases continuously. That demands a creation of effective control and diagnostic equipment applied at the test and exploitation stages. Nondestructive control is especially important for uninhabited objects in remote territories, where execution of the control and diagnostic functions of *REE* by staff is impossible. At the same time, volume of increased Measuring Information (*MI*) during the control of the remote and territorial distributed objects requires the volume reduction and increased reliability of the transmitted messages.

New approaches of contactless diagnostics (for example, computer vision) are successfully developed. These approaches are applied in Information and Measuring Systems (*IMS*), telemetry systems, and Autonomous Automated Control Systems (*ACS*). They are implemented on the basis of contactless ways of *MI* exchange, digital signal processing, etc. Functions of telemetry systems are the following [1, 2]. First, *MI* entering from control objects is collected and processed by one or several peripheral control elements. Second, after *MI* delivering through communication channels its full processing is implemented and resulting outputs are provided to the staff managing Radio-Electronic Systems (*RES*). Transition from pre-emergency Technical State (*TS*) of *REE* to accident does not allowed. This requires the on-line collection of diagnostic information of control objects. At the same time, the tasks of *TS* estimation and identification of failure location in *REE* [3-5] are solved. The special properties are as follows:

Volume of processed by *MI* information is increased.

It is required to process several *MI* streams under the restricted resources of standard control elements.

Necessary control and measuring information, as well as, specialists for the analysis of *REE* technical condition may be unavailable sometimes in control centers.

This requires a development of new approaches for *MI* assessment in *ACS*, *IMS*, and telemetry systems.

For reduction of redundancy of measuring information under completeness of object control through communication channels, it is reasonable to transmit not all measuring results but only messages about an exit of object parameters outside of the limits of the set admissions. The systems

realizing such method of collecting telemetric data are called the adaptive systems of prestart control [6]. Achievement by the controlled parameter of threshold level in random time instant is an event initializing alarm signal [7]. In this case, the outlier value of parameter over threshold level is also a random value.

Conventional telemetry systems are divided in Remote Signaling Systems (*RSS*) and Telemetry Measurement Systems (*TMS*). However, we propose a complex model of alarm signal processing. It includes integration of the existing classes of systems as follows: the alarm signal is formed only in the case of exceeding by controlled parameter x the predefined threshold level x_{Th} (as in *RSS*) with the subsequent measurement (as in *TMS*) of the value of the emission above the threshold [6]. In the integrated system, random variables are the time instances t_i of alarm signals and levels of these signals u_i .

For control of the technical condition of electronic equipment in the this work the approach based on integration of measuring information, arriving from group of polytypic sensors is offered. Their models promoting increase in informational content of monitoring of emergencies, reliability and the accuracy of control into account of false positive result (*FPR*) and false negative result (*FNR*).

The modelled representation of the refusal in *REE* consists in the following:

- 1) Complex use of the polytypic sensors (for example, sensors of temperature, tension of magnetic field, tension and humidity of air);
- 2) The processing of emergency signals in control systems integrating properties of systems of the remote signaling (*SRS*) and telemetry (*TMS*);
- 3) Mistakes check of *FPR* and *FNP*.

In this work, the adaptive control method of autonomous *REE*, which is based on estimation of their *TS*, is presented. It occurs by means of integration of critical results of measurements of parameters (emissions) by various sensors, ellipsoidal approximation of area of working capacity of the controlled object (*CO*) and formation of multidimensional refusal. At the same time mistakes of *FPR* and *FNP* are considered that allows to reduce redundancy of *MI* and also to increase reliability and accuracy of control.

The novelty of work consists in realization of the new approach to adaptive control of autonomous *REE* based on the complex estimation of their *TS*.

The theoretical and practical contribution consists in the following: the offered approach on control of the *TS* of *REE* allows to increase reliability and accuracy of definition of deviations of controlled parameters for prevention of emergencies.

Article has the following structure. Section 2 includes the analysis of works in the field of monitoring and estimation (recognition) of types of the *TS* of *REE*. Problem definition and a method of the decision are given in Section 3. Section 4 considers mechanisms of functioning of the offered adaptive control system and results of researches. Conclusions and the directions of the further researches are given in Section 5.

2 Related works

An analysis of the works [1, 2, 5, 8] shows that in order to ensure the effective functioning of *REE* while reducing the cost of their life cycle, it is necessary to introduce tools and methods for automated monitoring and diagnostics of *TC*. It is also necessary to use effective methods and means of ensuring the safety and reliability of the operation of *REE*.

At the same time, the specifics of functioning of control systems of the *TS* of *REE* with accounting of their operating modes rely on use of nondestructive ways of control and diagnostics. These methods are used in various industries of industrial electronics and electrical equipment [1-5]. Their disadvantage is the high probability of denial of service. This is due to the fact that the control thresholds are assigned without taking into account the general state of the communication system and the load level of the buffer devices in the switching nodes. These conditions cause blocking of knots in the loaded network, rather low productivity and high coefficient of idle time. It

is caused by the fact that for control of complex technical systems and identification of their state it is necessary to perform the measurement, transformation and processing of a large number of parameters connected with shutdown of a system and its idle standing.

Among the existing ways (strategy) of monitoring by the most optimum the control of the TS focused on the reliability of the *CO*, providing adjusting and the anticipating, that is preventive, predicting control methods is considered [10].

So in [11] *TS* of the controlled objects characterize by comparison of an emergency with the reference table of conditions of emergence of malfunction.

Along with the known methods of estimation [3-5, 12, 13, 16-19], in [20] procedures are offered will predetermine the *REE* models. They have properties of nonlinearity and multiconnectivity and also allow to build adaptive control algorithms with identification or reference model.

Predetermination of the assessment of the *TS* of *REE* in [2] is carried out due to comparison of the measured value and values of the predetermined weight coefficients characteristic of the controlled equipment. However, in many cases of the prior information, it is not enough for the implementation (acceptance) of this or that assessment of the *TS* of *REE*, and selection of a posteriori data is small for some statistical conclusions.

In these conditions receiving enough reliable results provide methods of statistical classification [16], the theory of neural networks [4], intellectual agents [17] and others. These methods have the merits and demerits which are used at the solution of problems of assessment of the *TS*, forecasting of changes of the *REE* controllable parameters. So, in [18] for controlling a robotic arm the neural network with back-propagation is used. In [19] it is offered to use the positioning ontology which models the spatial and temporal relationship between the observations from different sensors for assessment of a condition of the Internet of Robotic Things elements. It says about the efficiency of use of the adaptive methods for technical estimation of *REE*.

Monitoring of autonomous objects is, as a rule, characterized by the automated wireless exchange of *MI* [21] that allows to reduce considerably a time resource and participation of the person. At the same time, the configuration of the system of continuous monitoring allows to carry out adjustment of the parameters, by response to sudden fluctuations in a state of the *CO* or sharp changes in resource requirements [22].

An alternative to the aforementioned methods is the collection and processing of *MI*, implemented in multi-level monitoring systems *TS RES*, in which the collection and processing of *MI* is based on its comprehensive assessment. And the *MI* collection stage is presented in the form of transmission and processing of data on the output of object parameters beyond the specified tolerances This stage promotes reduction of redundancy of *MI*, due to integration of *RSS* and *TMS*. Such integration in a complex with classification of emergencies and mistakes check *FPR* and *FNR* promote increase in productivity (efficiency) in a control system.

In general, the conducted researches in the field of control of the *TS* of *RES*, recognition of types of refusals and their forecasting are characterized by quite wide range of approaches in this subject domain.

3 Mathematical backgrounds: representation of the results of control

For implementation of assessment of the *TS* of *REE*, it is offered to use an area of working capacity which dimension is defined by the number of output parameters. The *TS* of *REE* is defined by finding of parameters, characteristic of concrete type of the equipment, within admissions. Detailed submission of information on the *TS* of *REE* requires implementation of complex accounting of characteristic signs and mistakes by transfer, receiving and processing of *MI*.

3.1 The complex nature of the transmitted signals

When carrying out monitoring of the *TS* of *REE*, at a stage of the collecting *MI*, for estimation of controlled parameters it is offered to use a way of complex statistical control of the *TS* of *REE* which has to meet the following conditions:

1) to carry out integration of indications of sensors so that the signs characterizing the *TS* of the *CO* in one parameter, «invisible» to one type of sensors, but identified by sensors of other type could be found;

2) to reveal emergency signals at multidimensional statistical control (at various levels of the system);

3) to increase scopes of technical means of control and diagnostics.

The complex nature of control consists in obtaining *MI* about the *TS* of *REE*. It is based on versatile signs *j*: temperature, electromagnetic response, humidity of air, tension, etc. Obtaining *MI* is carried out, respectively, from sensors of temperature, the tension of magnetic field, humidity of air, the voltmeter, etc.

Considering that the transfer of *MI* about the controlled equipment from sensors on blocks of processing of *MI* is carried out constantly, during the normal operation of the equipment, its volume will be superfluous. For elimination of redundancy, it is necessary to involve one type of the sensors removing information at the moment of time on the most critical for a certain type of the equipment and its operating mode to the parameters. In those time points when the controlled parameters go beyond allowable limits, information arriving from sensors will confirm an emergency (prefault conditions) condition of the equipment. In this case it is important that the data arriving from the each sensor supplemented each other, giving fuller picture.

On the basis of the statistical analysis of the measured parameters X_i of several samples *REE* (for example, radio-electronic modules) establish reliability range – the area of operating states D_p representing an interval of dispersion of values of the parameters (proceeding from installation of allowable limits X_a, X_b) corresponding to the operating state of *RES* in general.

3.2 Creation of the *MI* three-dimensional model at the touch level

For combination of the indications of various types of sensors the method based on a grid of emissions and the Bayesian conclusion, modified for creation of three-dimensional model of the *TS* of *REE* on the basis of a surface of points is used. The measurements received from each of sensors are presented in the form of a surface of points in three-dimensional space (fig. 1), at the same time each point of *r* of a surface is presented by the following sizes:

1) mathematical expectation of the position of the point in three-dimensional space r_x, r_y, r_z ;

2) matrix of the covariance r_δ setting dispersion of three-dimensional normal distribution of the provision of a point;

3) probability of the parametrical refusal r_{ref} ;

4) probabilities of the receiving measuring signal of precritical conditions *N* *REE* elements r_{d_i} , where $i \in 1, \dots, N$.

MI, received from the magnetic field sensor is presented in the form of several points with situation $r_{xyz} = M_r^{-1} M_n^{-1} v$, where M_r – the matrix setting position of the sensor concerning the *REE* controllable element; M_n^{-1} – matrix of the *TS* dimension $H \times H$, where H – length of *v* of vectors (with coordinate *z*) the digital sequence which represent *h* of measurements of the magnetic field sensor instant values, where $h = 1, 2, \dots, H$.

The results of measurements in the form of thermograms of the *REE* controllable element, receive from temperature sensor. In process the analysis of control of parameters of the *REE* element results of measurements add to a surface of points in three-dimensional space (fig. 1). At the same time carry out identification of possible violations of stability of its *TS* on the basis of existence of nonrandom structures and use of borders of range of reliability [3, 4].

The results of the voltage measurements, register in the form of a separate point for which with a sufficient measure of trust the point interfaced by it is found. Formulas of calculation of a point of measurement in three-dimensional space are similar to the points for of the magnetic field sensor.

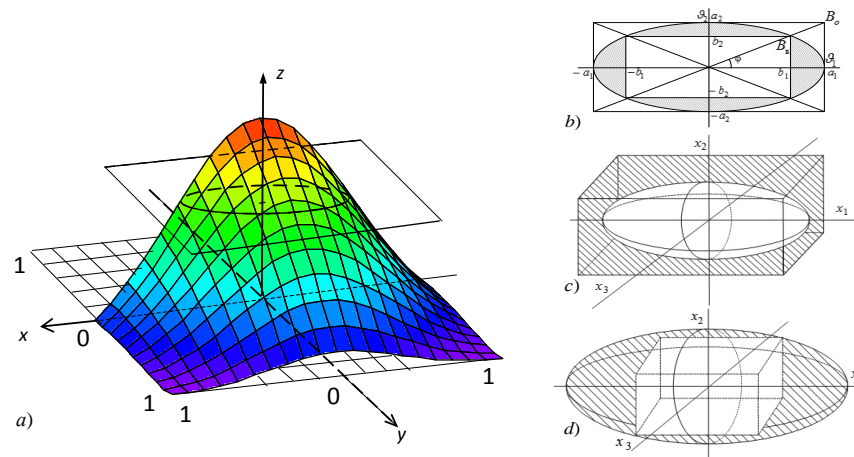


Fig. 1. Example of three-dimensional model of assessment of the *TS* of *RES*: a) hypersurface of *TS* of control object; b) the quality ellipse; c) the entered ellipsoid; d) the described ellipsoid

Information obtained from the sensor of humidity of air can be presented in the form of change of color range of points of a surface of the three-dimensional image (fig. 1). It occurs at corresponding change of humidity in the field of a controlled element which is characterized by an exit of the parameter (humidity) out of reliability range limits.

Coordinates of points can be expressed as $r_{xyz} = M_r^{-1} M_l^{-1} R_{X_u} R_{X_b}$, where $R_{X_u, Y}$ – matrix of deviations of the controlled parameter to the lower bound of admission concerning axis *Y*; $R_{X_b, Z}$ – matrix of deviations of controlled parameter to the upper bound of admission concerning axis *Z* of area of operating states D_p .

The covariance matrix in the global system of coordinates is set by expression $r_\delta = M_r^{-1} M_l^{-1} R_{X_u, Y} R_{X_b, Z} M_\delta$. At the same time the value of diagonal of a matrix M_δ corresponding to axes *X*, *Y* in the local system of coordinates of all sensors are set proceeding from the chosen approximation step, and the value corresponding to axis *Z* is set proceeding from the accuracy of the concrete sensor.

This model can be expressed mathematically as follows. Let employment of a point of *r* is defined by a variable of a state *Cell*, which accepts one or the other values:

$$\text{Cell}(r) = \{\text{it is busy, free}\}.$$

Emission – a signal of an exit of controlled parameters for reliability range borders (an accident signal) arriving from of the magnetic field sensors, tension, humidity of air and tension in some direction φ , is defined by the *Cond* variable:

$$\text{Cond}(r, \varphi) = \{\text{accident signal, norm signal}\}.$$

All possible directions φ (from 0 to 360°) breaks into *q* of the sites designated φ_i . Variable conditions of *Cell* and *Cond* unite through logical operation of following. Let's consider the following assumptions:

$$O: \text{Cell}(r) = \text{it is busy};$$

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

Then *O* is expressed through R_i as follows:

$$R_1 \vee R_2 \vee \dots \vee R_{n-1} \vee R_n \rightarrow O. \tag{1}$$

For determination of the probability that the point is occupied the Bayes method is used. For each point of *r* the validity of offer *O* is defined. As *O* treats *R* through logical following, probability can be determined as

$$P(O) = P(R_1 \vee R_2 \vee \dots \vee R_n). \tag{2}$$

Let's find probabilities of offers *O* and R_i :

$$P(O) = 1 - \prod (1 - P(R_i)). \tag{3}$$

Expression (3) can be used for calculation of the probability that the point is occupied (an exit of controlled parameter for reliability range borders) if probabilities of emissions $P(R_i)$ are known. At practical application expression (3) can be written down on the basis of a formula of total probability concerning value $P(r)$.

Let's apply the rule of Bayes for determination of the probability $P(R_i/r)$ on new measurement of controlled parameter r :

$$P(R_i|r) = \frac{P(r|R_i)P(R_i)}{P(r)}, \quad (4)$$

where $P(R_i)$ – initial probability of the received signal of emission. In the Bayesian rule it usually is accepted equal 1/2 as is impossible to define initially if the point is busy or free.

Complex model of the sensor. The value $P(r|R_i)$ is called sensor model. The model of the sensor determines the probability of receiving measurement of r if it is known that offer R_i – is true.

Sensor $P_N(r|R_i)$ model for of the magnetic field sensor can be presented as follows. Let X_i – the random variable characterizing controlled parameter U_{stmf} (tension fixed by of the magnetic field sensor), and $f(U_{stmf})$ – function of density of probability of stay X_i in the reliability range, then

$$P_N(r|R_i) = \begin{cases} 0, & \text{if } f(U_{stmf}) < 0; \\ 1, & \text{if } f(U_{stmf}) > 0. \end{cases} \quad (5)$$

At the registration of the controlled parameter r in this range emission is formed. Taking into account fixing of violation of range of reliability the sensor at an exit of the controlled parameter from the range of admissions at the same time of two and more REE elements on the decisive device several signals of emissions can arrive at the same time, and several points in the three-dimensional space are respectively received. Generally, the number of such points will be in the proportion to the measured of the magnetic field sensor. Thus, the probability that the point displays a parameter exit in this direction of range of reliability is inversely proportional to of the magnetic field.

Sensor $P_T(r|R_i)$ model for the sensor of temperature can be presented as follows. Let $\bar{X}_t = (\bar{x}_{t_1} \dots \bar{x}_{t_m})^T$ – a vector of averages in the t -th instant selections of measurements of temperature ($t=1, \dots, m$), x_{ij} – average value in the t -th instant selection in the parameter j .

The main criterion of the violation of stability of process – an exit of controlled parameter for threshold level (for reliability range borders), then

$$P_T(r|R_i) = \begin{cases} 1, & \text{if } T_t < T_{\text{threshold}}; \\ 0, & \text{if } T_t > T_{\text{threshold}}. \end{cases} \quad (6)$$

The model of the sensor of tension $P_U(r|R_i)$ can be described by the expression similar to of the magnetic field sensor model:

$$P_U(r|R_i) = \begin{cases} 0, & \text{if } f(U_{\text{measured}}) < 0; \\ 1, & \text{if } f(U_{\text{measured}}) > 0, \end{cases} \quad (7)$$

where U_{measured} – the measured value tension sensor.

Sensor $P_V(r|R_i)$ model for the sensor of the humidity of air to within values of probability can be presented as follows. Let s – be the color range corresponding to the range of change of the humidity of air in the field of the controlled element (fig. 1, a) which is in various states, and $f_\delta(s)$ – function of density of probability of a range of s , then

$$P_V(r|R_i) = \begin{cases} 0,3, & \text{if } f_\delta(s) < \varepsilon \wedge s < r; \\ 0,5, & \text{if } f_\delta(s) < \varepsilon \wedge s \leq r; \\ 0,95f_\delta(s), & \text{if } f_\delta(s) \geq \varepsilon. \end{cases} \quad (8)$$

Formation of a complex signal of *TMI*. As a rule, the *TS* of *REE* is characterized not only by one parameter, but the whole group of parameters. The method of purpose of independent intervals to each parameter existing now separately does not allow considering the correlation of the *REE* parameters. For accounting of correlation of parameters, and, as a result, increase in reliability of

control, the area in space of parameters in which with the set probability there are values of controlled parameters is offered to consider. Therefore at assessment of the *TS* of *REE* is offered to use an area of working D_p capacity which dimension is defined by the number of the output parameters characterizing the *TS* of *REE* in general [4, 5].

Influence of the external indignations which exact properties are unknown and cannot be described by simple ratios, leaves a mark on area of working D_p capacity, washing away its borders. In this regard, values of the *REE* controllable parameters always define with a final error.

Taking into account normal distribution of the real measurements in the presence of errors *FPR* and *FND* in which with the set probability there are values of the measured output parameters of the *CO* is expedient to approximate an area of working capacity an ellipsoid [14-16] (fig. 1, c, d).

3.3 Formation of an ellipsoid of working capacity taking into account mistakes of the *FPR* and *FNR*

Control of the *REE* separate parameters, without their interrelations, or does not provide the required size of reliability of control, or excessively overestimates operational indicators, at the same time numerous false signals of an accident are possible [6-9].

For control of the *CO* parameters on several correlated indicators in works [3-5] multidimensional methods of the statistical analysis are used. It assumes correcting of values of the *CO* parameters during its operation by results of selective control. This procedure is necessary for maintenance of statistically operated and stable process of work *CO*, however at the same time there is no accounting of mistakes of errors *FPR* and *FNR*.

In the modelled system of monitoring, at a deviation of the controlled parameters of the *REE* elements, the comparison of parameters with threshold values within D_p is made. By the results of comparison, the normal state of *REE* decides on probability p_1 or its abnormal state with probability p_2 . And *TS* recognition (critical condition) of *REE* is carried out taking into account mistakes of the *FPR* (α) and the *FNR* (β).

Minimization of the probability α comes down to creation of the entered rectangle B_B of the maximum area (fig. 1, b) also decides by means of a method of diagonals. According to this method of top of the entered parallelepiped (fig. 1, d) are in a point of intersection of diagonals of the described parallelepiped with an ellipsoid (fig. 1, c and fig. 2). For this purpose the values of the parties of the entered parallelepiped (fig. 1, d), corresponding to the admissions on parameters of the *RES* elements when ensuring zero probability of a mistake β and minimum possible mistake α .

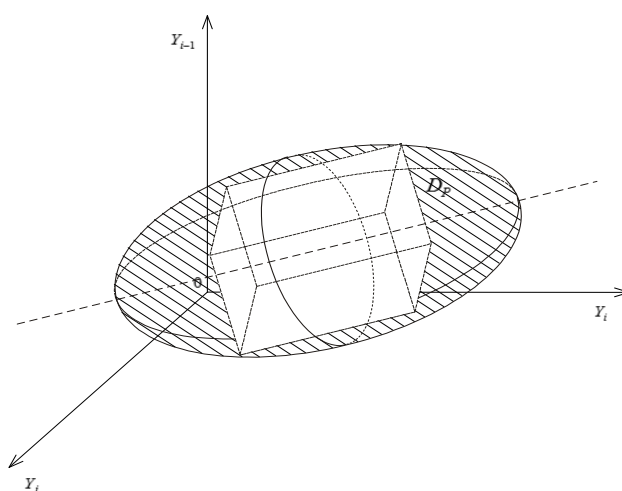


Fig. 2. Ellipsoid of working capacity (informational content)

Ensuring the required correlation α/β between the *FPR* and *FNR* errors when approximating the region D_p of admissible parameter values (the hatched described ellipsoid in Fig. 1, c, d), determines the tolerances for the parameters. With these tolerances, a certain probability of an

undetected failure of the *REE* elements is preliminarily set, or the cost of the control and monitoring system is minimized when implementing the established requirements for the *TS* indicator of the controlled object (quality of operation).

Thus, set of the controlled parameters which are in limits of admissions at ellipsoidal approximation in a complex look will represent a characteristic form of an ellipsoid (fig. 2). Its dimension (parameters) will also be written down in memory elements. At a deviation of parameters from norm, the proportion of a figure will change, and the dynamics of the changing parameter will be characterized by a color range from violet (normal state) to red (critical condition).

Complex use of *MI*, received from the diverse sources, is presented in three-dimensional space, at ellipsoidal approximation. It is applicable for the solution of problems of control of the *TS* of objects in the conditions of uncertainty. Such approach promotes increase in reliability of *MI* about a condition of the observed objects in the systems of monitoring, to expansion of a scope of technical means of control and diagnostics and also decrease in redundancy of *MI* at stages of its transfer. In general, it promotes increase in efficiency of process of control.

4 Realization of a method of adaptive control of the *TS* of *RES*

For definition of the stages of control of the *TS* of *RES* we will define the following basic data:

list of the controlled parameters (temperature, tension, of the electromagnetic field strength, humidity of air, etc.);

frequency of the poll of *RES* sensors;

greatest possible dynamics (frequency, speed) of the change of the controlled parameter.

MI RES received when functioning, is necessary to transfer for processing to remote dispatch center management (*DCM*) for the analysis and final definition of the *TS* of *RES*.

The solution of a problem of control of the *TS* of *RES* is presented in the form of the sequence of the following stages (procedures).

Main stages of control of the *TS* of *RES*:

I. Preprocessing of *MI* on the remote terminal:

stage 1 – scan poll controllers (servers) of sensors on the *RES* elements;

stage 2 – drawing up the knowledge base (statistical data) in controlled parameters;

stage 3 – primary estimation of the values of the received group of signals (remote signaling) from the *RES* controllable element: appraisal evaluating degradations of the controlled parameter (application);

II. Processing of the signals of a *TMI* on *DCM*:

stage 4 – secondary complex estimation of the received group of signals of *RSS-TMS*:

a) formation of a multidimensional complex image of the *TS* of *RES* (in the most critical parameters);

б) comparison of the received image with reference values of images of signals from the knowledge base;

stage 5 – identification of the *TS* of *RES* taking into the account mistakes of the *FPR* and *FNR*.

In case of an exit of different controlled parameters of objects out of the allowable limits, in the sensor located directly on elements of objects the signal of critical condition of the such objects is formed. In the existing systems of the telemetry each parameter of an object is controlled with the period T_0 , irrespective of its speed of change. However at the increase of the speed of change of the separate parameters they can reach permissible values in a time smaller the fixed period T_0 . In this case the control system will not be able to react in due time to inadmissible changes of parameter that will lead to refusal of a controlled object. For efficiency of control of a condition of an object measurement and the subsequent assessment of parameter is carried out with a frequency of proportional speed of change of the parameter. Depending on exit speed (time Δt_1 , Δt_2 achievement of permissible value) controlled parameter U out of the allowable limits the priority of a signal is defined.

This is set thanks to a multi-level tolerance system (the higher the tolerance level, the higher the priority of the service request).

An autonomous electrical installation (power plant) was used as the control object, and the proposed approach was used to monitor *TS*. As a subject to control autonomous electro installation

(power plant) for which monitoring of the *TS* the offered approach was used. When carrying out researches accounting of internal parameters of electro installation (output voltage, temperature of heating of the generator (anchor), humidity of air and tension of the electromagnetic field) was made.

Proceeding from the offered models of sensors, the fixed deviations of controlled parameters, are displayed in the form of an ellipsoid of various color scale. It allows, to comparison with a reference ellipsoid to display flowing the *TS* of a controlled object. Results of control of humidity of air on the *RES* controllable element are displayed in fig. 3. Given the availability of any emergency option in the knowledge base, based on the results of such a comparison, the current *TS* of the *RES* will be identified.

In general, multidimensional representation of refusal *CO* with use of the offered approach shows a considerable prize in reliability of *MI* and reduction of its redundancy.

Thus, the results of the conducted researches showed that complex idea of *MI* of the *TS* of *RES* is increased by reliability and informational content of the obtained resultant information.

Further development of researches of complex estimation of the *TS* of autonomous *RES*, at implementation of their control is possible by carrying out a computing experiment on the basis of methods of imitating modeling with use of software, for example, in the Anylogic programming environment. Use of software will allow to consider any aspect of the modelled system with any level of specification, and the graphic AnyLogic interface, tools and libraries will allow to create quickly models for a wide range of tasks from modeling of refusals, poll of sensors before development of all system of monitoring of the *TS* of *RES*.

5 Conclusion

The results of a research show that for implementation of monitoring of the *RES* parameters of, especially, uninhabited autonomous objects (for example, artificial Earth satellites) various instruments of control can be used. They provide increase in reliability of results of identification and sensitivity to detection emergency situations.

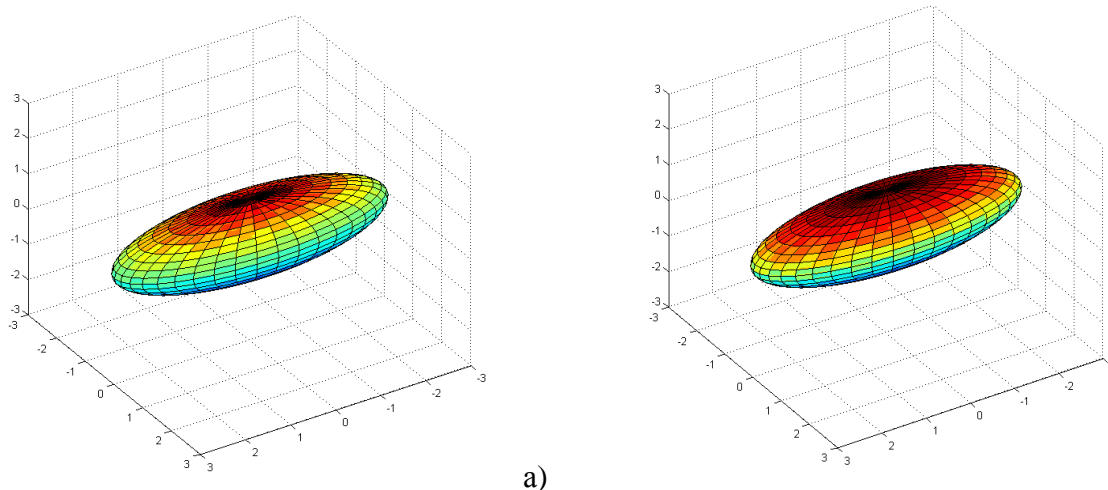


Fig. 3. Informational content ellipsoid: a) display of the *TS* of the measured sample; b) «reference ellipsoid»

The approach of complex control of the *TS* of *RES* presented in article on the basis of integration of indications of several types of sensors can be used for creation of the universal automated complex of control of uninhabited autonomous objects of technological systems. Such complex of control includes the systems of technical sight and allows to estimate operability of the wide nomenclature of the *REE* with high reliability. Complex representation of *MI*, taking into account its transfer at integration of *SRS* and *TMS*, promotes decrease in redundancy of *MI* in the system of monitoring, to increase in reliability and accuracy of estimation of the *TS* of *RES*.

In general, the offered approach will allow carrying out support of decision-making in the control systems of the *TS* of *RES* on-line on elimination of critical conditions.

Acknowledgment

The research is executed with financial support of the Russian Foundation for Basic Research within the scientific project №. 16-29-04326 ofi_m.

References

1. Sokolov, B., Yusupov, R.: Conceptual foundations of quality estimation and analysis for models and multiple-model systems, *Journal of computer and systems sciences international* 46(6), 831-842 (2004).
2. Takayama, K., Kariya, S.: Autonomous Measuring by Sensing Node in Telemetry System, *Measurement Science Review* 3(3), 29-32 (2003).
3. Abramov, O.: Parallel algorithms for computing and optimizing reliability with respect to gradual failures, *Automation and Remote Control* 71(7), 1394-1402 (2010).
4. Abramov, O.: Choosing Optimal Values of Tuning Parameters for Technical Devices and Systems, *Automation and Remote Control* 77(4), 594-603 (2016).
5. Abramov, O., Dimitrov, B.: Reliability design in gradual failures: a functional-parametric approach, *Reliability: Theory&Application* 12(4), 39-48 (2017).
6. Fedorenko, V., Vinogradenko, A., Kononov, Y., Samoilenko, V., Samoilenko, I.: The Time-Probability Characteristics of a Telemetric Signal with the Variable Number of Bits, In: *Proceedings of the 2017 IEEE II International Conference on Control in Technical Systems (CTS)*, pp. 146–149 (2017).
7. Katzel, J.: Managing Alarms, *Control Engineering* 54(2), 50-54 (2007).
8. Fantana, N., Pettersson, L., Perkins, M., Girgis, R., Fazlagic, A.: Method and system for systematic evaluation of evaluation parameters of technical operational equipment, Patent No. US 7 239 977 B2 (2007).
9. Fedorenko, V., Budko, P., Vershkov, N.: Mathematical model of discrete communication channel under the influence of destabilizing factors, *Engineering Simulation* 15(1), 77-83 (1998).
10. Yang, W., Tavner, P., Crabtree, C., Feng, Y., Qiu, Y.: Wind turbine condition monitoring: technical and commercial challenges, *Special Issue: Condition Monitoring* 17, 673-693 (2014).
11. Yoshida, A.: Centralized network monitoring device for monitoring devices via intermediate monitoring devices by means of polling and including display means displaying screens corresponding to hierarchic levels of the monitored devices in a network, Patent No. US 5,504,863 (1996).
12. Buryi, S., Loban, A., Lovtsov, D.: Compression Models for Arrays of Measurement Data in an Automatic Control System, *Automation and Remote Control* 59(5), 613-631 (1998).
13. Lovtsov, D., Karpov, D.: Dynamic Planning of Navigation Determinations of Airspace and Missile Objects in an Automated Flight Test Control System, *Solar System Research. PAS* 45(7), 645-651 (2011).
14. Chernousko, F.: *State estimation for dynamic systems*. Boca Raton, Florida: CRC Press (1994).
15. Lluís, R., Assumpta, S., Federico, T.: An ellipsoidal calculus based on propagation and fusion, *IEEE transactions on systems, man, and cybernetics – part b: cybernetics* 32(4), 430-442 (2002).
16. Singha, J., Das, K.: Hand Gesture Recognition Based on Karhunen-Loeve Transform, In: *Proceedings of Mobile & Embedded Technology International Conference*, pp. 365-371 (2013).
17. Kotenko, I., Ageev, S., Saenko, I.: Implementation of Intelligent Agents for Network Traffic and Security Risk Analysis in Cyber-Physical Systems, In: *Proceedings of the 11th International Conference on Security of Information and Networks (SIN'18)*, Article 22, 4 pages (2018).
18. Kumar, R., Kumar, S., Lal, S., Chand, P.: Object Detection and Recognition for a Pick and Place Robot, In: *Proceedings of the IEEE Asia-Pacific World Congress on Computer Science and Engineering* (2014).
19. Simoens, P., Dragone, M., Saffiotti, A.: The Internet of Robotic Things: A review of concept, added value and applications, *International Journal of Advanced Robotic Systems I-II*, 1–9 (2018).
20. Pshikhopov, V., Medvedev, M., Gaiduk, A., Neydorf, R., Belyaev, V., Fedorenko, R., Krukhmalev, V.: Mathematical model of robot on base of airship, In: *Proceedings of the IEEE Conference on Decision and Control 2013 IEEE 52nd Annual Conference on Decision and Control (CDC'2013)*, 959-964 (2013).
21. Joseph A.: Automated wireless preventive maintenance monitoring system for magnetic levitation (MAGLEV) trains and other vehicles, Patent US 5,445,347 (1995).
22. Lawson, B., Smirni, E., Puiu D.: Self-adapting backfilling scheduling for parallel systems, In: *Proceedings International Conference on Parallel Processing*. Conference Location: Vancouver, BC, Canada, Canada 21 Aug. 2002. *IEEE Xplore* (2002).

Метод адаптивного интеллектуального контроля технического состояния радиоэлектронных систем

Будко П.А., Винограденко А.М., Меженов А.В., Заремба В.Е.

***Аннотация.** Повышение требований к качеству функционирования сложных технических объектов (радиоэлектронные системы, робототехнические комплексы, летательные аппараты и др.), а также к их безопасности и надежности сделали особенно актуальной проблему мониторинга их технического состояния, с учетом воздействия различного рода атак и дестабилизирующих факторов, старения и технологического разброса параметров. В статье предлагается новый подход к совершенствованию метода адаптивного интеллектуального контроля технического состояния радиоэлектронных систем. Данный подход основан на интервальном комплексном оценивании параметров, использовании базы знаний об аварийных и штатных состояниях, а также взаимосвязанности контролируемых параметров с учетом погрешностей и ошибок первого и второго рода. Рассматривается реализация многомерного представления технического состояния радиоэлектронных систем, что позволяет производить четкую фиксацию их технических состояний, повышает точность и достоверность результатов идентификации состояний, а также расширяет возможности применения технических средств контроля и диагностики в системах контроля.*

***Ключевые слова:** интеллектуальное оценивание, контроль, радиоэлектронная система, техническое состояние, база знаний.*

Статья поступила 05 августа 2019 г.

Information about Authors

Budko P.A. – Scientific Secretary of PJSC «Information Telecommunication Technologies». Doctor of Technical Sciences, professor. Phone: +7(812)448-95-97; +7911010-92-64. E-mail: intelteh@inteltech.ru; budko62@mail.ru. Address: 197342, Russia, Saint-Petersburg, Kantemirovskaya, 8.

Vinogradenko A.M. – Military Academy of Communications named after Marshal of the Soviet Union S.M. Budenniy. Doctorate of Technical Sciences, Associate Professor. Doctoral candidate. Phone: +79214439022. E-mail: vinogradenko.a@inbox.ru. Address: 194064, Russia, Saint-Petersburg, Tikchoretskiy, 3.

Mezhenov A.V. – Military Academy of Communications named after Marshal of the Soviet Union S.M. Budenniy (St. Petersburg). Graduated in a military academy. Phone: +79697203007. E-mail: a.mezhenov@yandex.ru. Address: 194064, Russia, Saint-Petersburg, Tikchoretskiy, 3.

Zaremba Vladyslaw Evgenevich – St. Petersburg State University of Telecommunications of M.A. Bonch-Bruevich. Master's student. Phone: +79061531748. Address: 193232, St. Petersburg, ave. Bolshevnikov, 22, k.1.

Информация об авторах

Будко Павел Александрович – Ученый секретарь ПАО «Интелтех». Доктор технических наук, профессор. Область научных интересов: управление ресурсами сетей связи; морская робототехника. Тлф.: +7(812)448-95-97; +7(911)010-92-64. E-mail: intelteh@inteltech.ru; budko62@mail.ru. Адрес: 197342, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Кантемировская, дом 8.

Винограденко Алексей Михайлович – Военная академия связи имени Маршала Советского Союза С.М. Буденного. Кандидат технических наук, доцент. Докторант. Область научных интересов: модели и методы формирования и обмена телеметрической информацией в едином информационном пространстве РФ. Тлф.: +7(921)443-90-22. Адрес: 194064, Россия, г. Санкт-Петербург, Тихорецкий пр., д. 3.

Меженов Алексей Викторович – Военная академия связи имени Маршала Советского Союза С.М. Буденного. Адыонкт. Область научных интересов: обеспечение контролепригодности технического состояния средств связи и РТО в едином информационном пространстве. Тлф.: 8(969)720-30-07. Адрес: 194064, Россия, г. Санкт-Петербург, Тихорецкий пр., д. 3.

Заремба Владислав Евгеньевич – Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. М.А. Бонч-Бруевича. Магистрант. Тлф.: +7(906)153-17-48. Адрес: 193232, Санкт-Петербург, пр. Большевиков, д.22, к.1.

Для цитирования: Будко П.А., Винограденко А.М., Меженов А.В., Заремба В.Е. Метод адаптивного интеллектуального контроля технического состояния радиоэлектронных систем // Техника средств связи. 2019. № 4 (148). С. 59-69. (In English).

For citation: Budko P.A., Vinogradenko A.M., Mezhenov A.V., Zaremba V.E. Method of adaptive intellectual control of technical condition of radio-electronic systems // Means of communication equipment. 2019. № 4 (148). P. 59-69.

ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

УДК 004.056

Метод обеспечения безопасности информации при её обработке в информационной системе на основе машинного обучения

Козин И.С., Роцин А.А.

Аннотация. Постановка задачи: с развитием информационных технологий появляются новые классы средств защиты информации при её обработке в информационных системах. Одним из классов средств защиты информации являются системы анализа поведения пользователей. При разработке средств анализа поведения все большее распространение получают методы машинного обучения, в том числе с применением математического аппарата теории искусственных нейронных сетей. Однако подходы к разработке средств защиты информации, основанные на машинном обучении, на сегодняшний день недостаточно изучены. **Целью работы** является разработка метода создания искусственной нейронной сети, обеспечивающей проведение анализа санкционированного поведения пользователей информационной системы и выявление аномалий в поведении, сигнализирующих о совершении противоправных действий. **Результат:** обзор подходов к обеспечению безопасности информации с применением искусственных нейронных сетей показал активное их развитие по разным направлениям, в т. ч. в направлении выявления аномалий. Разработан метод создания искусственной нейронной сети, включающий предложения по определению типа нейронной сети, области числовых значений входных и выходного сигналов, количества слоев и нейронов в слоях, метода обучения, а также типа активационных функций. В качестве входных значений предложено использовать характеристики поведения пользователя: набор данных, с которыми работает пользователь; место доступа к информационной системе; набор действий, которые совершает пользователь; время, в которое осуществляются доступ или определенные действия; общая продолжительность проводимых в течение определенного времени работ. На примере времени выполнения доступа пользователя предложен подход к присвоению характеристике пользователя числовых значений, основанный на применении математического аппарата теории нечетких множеств. **Практическая значимость:** обученная нейронная сеть обеспечивает более оперативное выявление аномалий в поведении пользователя чем анализ, выполняемый администратором обеспечения безопасности информации без использования специальных средств автоматизации.

Ключевые слова: информационная безопасность, анализ поведения, искусственная нейронная сеть, машинное обучение, теория нечетких множеств.

Актуальность

Неблагоприятная геополитическая обстановка и активизация действий террористов обуславливают актуальность проблем обеспечения безопасности, одним из важнейших аспектов которой является информационная безопасность.

На сегодняшний день существует множество технических решений по обеспечению безопасности информации при ее обработке в информационной системе. Одним из таких решений являются системы управления информационной безопасностью (СУИБ). СУИБ начали получать активное распространение примерно с 2012 г., во время динамичного развития технологий аналитической работы с большими объемами данных и машинного обучения.

Одним из направления развития СУИБ стала разработка систем анализа поведения пользователей (САПП). В задачи САПП входит анализ действий пользователей (состав обрабатываемых данных, контроль используемых устройств и приложений, учет взаимодействий с другими пользователями и т. п.) и выявление аномалий в их поведении. В общем случае, в ходе работы САПП каждому пользователю присваивается определенный уровень надежности, отражающий общую адекватность поведения пользователя в удобном для восприятия администратором безопасности виде. Примерами практического применения САПП являются выявление аномальных действий, совершаемых:

от имени служебных учетных записей (например, использование учетных записей, предназначенных для обеспечения определенных сервисов, для иных целей);

от имени привилегированных учетных записей (администратор домена осуществляет массовый сбор рабочих материалов пользователей и т. п.);

от имени учетных записей обычных пользователей (активный анализ доступных сетевых ресурсов, доступ в несвойственное для пользователя время или из несвойственного места, параллельный доступ из нескольких мест, резко возросшие объемы исходящего в Интернет трафика и т. п.).

Аномалии, распределенные во времени или среди нескольких пользователей, как правило, затруднительны в выявлении, основанном на применении экспертных систем, и требуют значительных временных и вычислительных ресурсов. Из-за большого разнообразия действий пользователей даже регулярные обновления базы данных правил экспертной системы не способны гарантировать точной идентификации всего диапазона аномалий. Одним из подходов к устранению указанных затруднений может быть использование в составе САПП интеллектуальных подсистем, разработанных с использованием методик машинного обучения.

Машинное обучение является одним из направлений развития искусственного интеллекта и за счет применения различных математических аппаратов (таких как математическая статистика, теория вероятностей, численные методы оптимизации и т. п.) позволяет решать задачи классификации, кластеризации, систематизации, предсказания и регрессии. В направлении машинного обучения выделим искусственные нейронные сети (ИНС).

Развитие ИНС вдохновляется биологией. При работе с ИНС, рассматривая различные сетевые конфигурации и алгоритмы, исследователи применяют термины, заимствованные из принципов организации мозговой деятельности. В силу ограниченности знаний о работе мозга, разработчикам ИНС приходится выходить за пределы современных биологических знаний в поисках структур, способных выполнять полезные функции [1]. Элементарной структурной единицей ИНС является искусственный нейрон [2–4], схематично представленный на рис. 1.

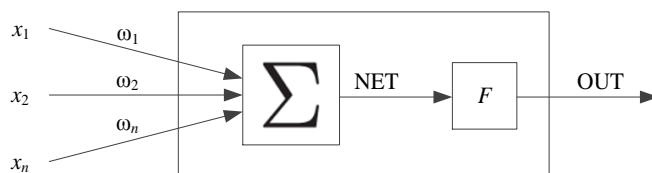


Рис. 1. Обобщенная схема нейрона

В общем случае основными элементами искусственного нейрона являются: входные сигналы x (соответствующие сигналам, приходящим в синапсы биологического нейрона), веса ω_n (на которые умножаются входные сигналы, соответствуют «силе» биологических синаптических связей), суммирующий блок Σ (принимает и суммирует входные сигналы – соответствует телу биологического нейрона), выходной сигнал NET (создается суммирующим блоком, является алгебраической суммой взвешенных входов), активационная функция F (преобразующая выходной сигнал NET) и, непосредственно, выходной нейронный сигнал OUT . Математически нейрон может быть представлен формулой:

$$OUT = f\left(\sum_{n=1}^m (x_n \omega_n)\right).$$

Один нейрон способен выполнять простейшие процедуры распознавания, однако для серьезных нейронных вычислений необходимо соединять нейроны в сети. Обобщенная схема однослойной ИНС представлена на рис. 2. Способность ИНС обучаться, адаптироваться под новые типы поведения и распознавать их, даже если ранее она с ними не сталкивалась, придает системе защиты информации, разработанной с их применением, определенную гибкость. Обучают ИНС на определенной выборке примеров, после чего ее реакция анализируется и ИНС настраивается таким образом, чтобы достичь удовлетворительных результатов.

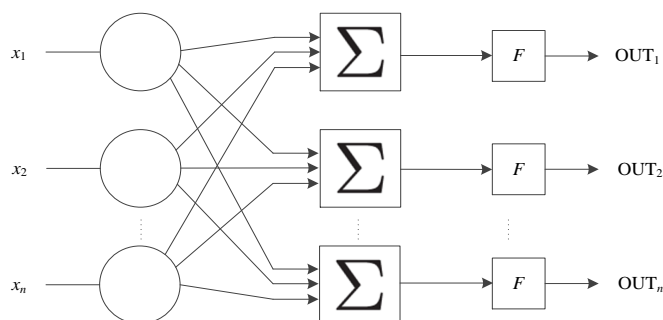


Рис. 2. Обобщенная схема однослойной ИНС

Обзор подходов к обеспечению безопасности с применением искусственных нейронных сетей

Универсальность, которая изначально была заложена в ИНС, обуславливает активное развитие этого направления как в целом [2, 3, 5–7], так и в области обеспечения информационной безопасности – при защите от сетевых атак и вторжений [8–12], антивирусной защите [13], фильтрации спама [14, 15], анализе безопасности [16–18], анализе угроз [19, 20], разработке адаптивных средства защиты [21–23], выявлении аномалий [24] и пр. [25, 26]. В настоящее время существует большое количество разных конфигураций нейронных сетей с различными принципами функционирования [8]. Однако практически все они связаны с выбором и анализом некоторых частных видов структур с известными свойствами (сети Хопфилда, Гроссберга, Кохонена) [2, 27]. Как отмечается в работе [9], наиболее популярными и изученными являются следующие: многослойный персептрон, сети Кохонена, нейронные сети встречного распространения, сети Хопфилда и Хэмминга, сеть с радиальными базисными элементами (*RBF*), вероятностная нейронная сеть (*PNN*), обобщенно-регрессионная нейронная сеть (*GRNN*) и линейные нейронные сети. Использование существующих ИНС открывает широкие возможности в области обеспечения информационной безопасности, но вместе с тем оно связано и с рядом проблемных вопросов [2, 5, 28, 29].

Постановка задачи

В настоящей статье предлагается метод обеспечения безопасности данных при их обработке в информационной системе, основанный на проведении анализа санкционированного поведения пользователей с применением ИНС.

Предполагается, что каждый пользователь информационной системы обладает набором характеристик, совокупность которых выражает его уникальное типовое поведение. К таким характеристикам предлагается отнести:

набор данных, с которыми работает пользователь (файлы, папки, сетевые объекты, интернет-сайты и т. п.);

место осуществления доступа к информационной системе (конкретный компьютер, помещение, здание, город, страна и т. п.);

набор действий, которые выполняет пользователь (чтение, запись, копирование, модификация и т. п.);

время, в которое осуществляется доступ или выполняются определенные действия (время суток, день недели, определенные числа и т. п.);

общая продолжительность выполняемых в течение определенного времени действий.

Предложенный набор характеристик не является исчерпывающим, но позволяет построить уникальную модель поведения пользователя. Отступление от модели поведения (выявление аномалий в поведении) может свидетельствовать о совершении противоправных действий. Примерами таких действий являются:

массовое удаление материалов, к которым имеет доступ пользователь (практикуется многими недовольными работниками при увольнении);

использование чужой учетной записи (практикуется пользователями, несерьезно относящимися к правилам разграничения доступа);

беспорядочное ознакомление или копирование корпоративной информации (практикуется любопытными пользователями и инсайдерами).

Каждая из перечисленных характеристик пользователя может быть рассмотрена применительно к группе пользователей. Таким образом, представляется возможным выявлять аномалии не только в поведении пользователя, но и в поведении групп. Такой подход может найти применение при осуществлении сговора среди пользователей и совершении санкционированных неправомерных действий, распределенных среди нескольких человек и от того особо затруднительных в выявлении.

Каждую характеристику пользователя (или группы пользователей) можно описать в виде коэффициентов x_n , $n \in \{1; 5\}$, где n выражает порядковый номер характеристики:

x_1 – набор данных, с которыми работает пользователь;

x_2 – точка доступа пользователя к информационной системе персональных данных;

x_3 – набор совершаемых пользователем действий;

x_4 – время осуществления доступа;

x_5 – общая продолжительность проводимых работ.

Близкий по своему составу набор характеристик поведения использовался ранее [30].

Совокупность характеристик поведения x обозначим вектором поведения \vec{x} .

В качестве математического аппарата выявления аномалий в поведении пользователя предлагается использовать теорию ИНС. Таким образом, на входе нейросети должны быть пять входных сигналов $x_1 - x_5$, и построение ИНС сводится к решению следующих задач:

определение типа необходимой ИНС;

определение подхода к присвоению числовых значений входным сигналам ИНС, отражающим поведение пользователя или группы пользователей ($x_1 - x_5$);

определение необходимого количества слоев ИНС и количества нейронов в слоях ИНС;

выбор метода обучения ИНС;

выбор активационных функций;

выбор области значений выходного сигнала *NET*, сигнализирующего о наличии аномалий в поведении пользователя или группы пользователей.

Построение искусственной нейронной сети

I. Тип искусственной нейронной сети

Поскольку на сегодняшний день не существует строгой теории по выбору ИНС [25], за основу разрабатываемой ИНС предлагается взять хорошо изученный многослойный полносвязный перцептрон без обратных связей.

II. Вход

Для присвоения числовых значений входным сигналам ИНС предлагается использовать математический аппарат теории нечетких множеств, позволяющий присваивать вербальным характеристикам (более свойственно, менее свойственно и т. п.) числовые значения. Основной трудностью, мешающей применению теории нечетких множеств при решении практических задач, является то, что функция принадлежности должна быть задана вне самой теории и, следовательно, ее адекватность не может быть проверена непосредственно средствами теории. В каждом известном методе построения функции принадлежности формулируются свои требования и обоснования к выбору именно такого построения [31]. В рамках решаемой задачи предлагается рассматривать характеристики поведения пользователя x_n как характеристические функции принадлежности $\mu_A(u)$ множеству значений аномального поведения A , заданные на универсальном множестве U и принимающие значения, равные единице, на тех элементах множества U , которые принадлежат множеству A , и значения, равные нулю, на тех элементах, которые не принадлежат множеству A :

$$\mu_A(u) = \begin{cases} 1, & \text{если } u \in A \\ 0, & \text{если } u \notin A \end{cases}.$$

При этом для каждой функции принадлежности должны рассматриваться свои множества. В качестве примера на рис. 3 представлена диаграмма Заде, демонстрирующая возможную зависимость значения характеристической функции принадлежности $\mu_A(u)$ множеству значений аномального поведения A в зависимости от времени доступа пользователя к ресурсам сети, на которой:

U – множество значений времени суток, в которое может быть осуществлен доступ к ресурсам сети, $U = \{u, u \in R: 0 \leq u \leq 24\}$;

A – множество значений времени суток, доступ в которое аномален для конкретного пользователя;

$\mu_A(u)$ – характеристическая функция принадлежности множеству значений времени суток, доступ в которое аномален для конкретного пользователя.

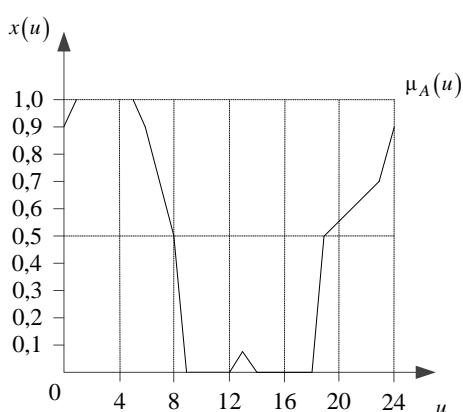


Рис. 3. Диаграмма Заде

В предложенном примере предполагается следующее:

продолжительность рабочего дня пользователя составляет девять часов (с девяти утра до шести вечера), включая перерыв на обед (в районе часа дня);

задерживаться по окончании рабочего дня и работать в около обеденное время.

Несущее множество аномального поведения можно записать следующим образом:

$A = 0.9/0 + 1.0/1 + 1.0/5 + 0.9/6 + 0.5/8 + 0/9 + 0/12 + 0.1/13 + 0/14 + 0/18 + 0.5/19 + 0.7/23 + 0.9/24$, где запись вида $0.9/0$ выражает не деление на ноль, а значение функции принадлежности (в данном примере 0.9) при осуществлении доступа в полночь.

Общая форма записи нечетких подмножеств будет иметь следующий вид:

$$A = \sum_{u=0}^{24} \mu_A(u)/u = \sum_{u=0}^0 0.9/u + \sum_{u=1}^1 1.0/u + \sum_{u=5}^5 1.0/u + \sum_{u=6}^6 0.9/u + \sum_{u=8}^8 0.5/u + \sum_{u=9}^9 0/u + \sum_{u=12}^{12} 0/u + \sum_{u=13}^{13} 0.1/u + \sum_{u=14}^{14} 0/u + \sum_{u=18}^{18} 0/u + \sum_{u=19}^{19} 0.5/u + \sum_{u=23}^{23} 0.7/u + \sum_{u=24}^{24} 0.9/u,$$

где запись вида $\sum_{u=0}^{24} \mu_A(u)/u$ не предполагает сумму, но предполагает объединение по всем элементам конечного несущего множества значений u . Точками перехода ($x(u) = 0.5$) для функции принадлежности являются $u = 8$ и $u = 19$.

III. Количество слоев и нейронов в слоях

Как показал А. Н. Колмогоров [32], любую непрерывную функцию n переменных на единичном отрезке $[0; 1]$ можно представить в виде суммы конечного числа одномерных функций:

$$f(x_1, x_2, \dots, x_n) = \sum_{p=1}^{2n+1} g \left(\sum_{i=1}^n \lambda_i \varphi_p(x_i) \right),$$

где функции g и φ_p являются одномерными и непрерывными, $\lambda_i = \text{const}$ для всех i . Из этого следует, что любую непрерывную функцию $f: [0; 1]^n \rightarrow [0; 1]$ можно аппроксимировать при помощи трехслойной нейронной сети, имеющей n входных, $2n + 1$ скрытых и один выходной нейрон. Данный результат обобщен на многослойную сеть с алгоритмом обратного распространения ошибки [33–35]. Таким образом, при построении ИНС предлагается использовать три слоя: первый слой будет включать в себя три нейрона, второй слой – семь нейронов, последний слой (выходной) – один нейрон.

IV. Метод обучения

В качестве метода обучения предлагается использовать алгоритм обратного распространения ошибки [36]. Данный алгоритм позволяет минимизировать среднеквадратичную ошибку ИНС. На рис. 4 продемонстрирована зависимость среднеквадратичной ошибки E_m от номера итерации t на примере прогнозирования функции $y = 0.1 \sin(3x) + 0.5$ с 20 точками обучающей выборки и 8 предсказанными точками [37].

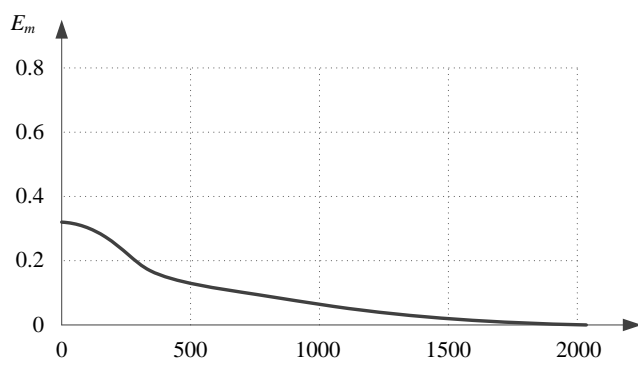


Рис. 4. График убывания ошибки на обучающей выборке

Согласно методу градиентного спуска изменение весовых коэффициентов и порогов нейронной сети происходит по следующему правилу:

$$\omega_{ij}(t+1) = \omega_{ij}(t) - \alpha \frac{\partial E}{\partial \omega_{ij}(t)}, \tag{1}$$

$$T_j(t+1) = T_j(t) - \alpha \frac{\partial E}{\partial T_j(t)}, \tag{2}$$

где $E = \frac{1}{2} \sum_j (y_j - t_j)^2$ – среднеквадратичная ошибка ИНС для одного образа.

Показано [38], что

$$\frac{\partial E}{\partial \omega_{ki}} = \gamma_i F'(S_i) \gamma_k, \tag{3}$$

$$\frac{\partial E}{\partial T_i} = -\gamma_i F'(S_i), \tag{4}$$

где γ_i – выходное значение i -го нейрона.

В результате подстановки (3) и (4) в (1) и (2) получаются выражения, устанавливающие порядок изменения весовых коэффициентов и порогов нейронов, которого необходимо придерживаться для минимизации среднеквадратичной ошибки ИНС:

$$\omega_{ij}(t+1) = \omega_{ij}(t) - \alpha \gamma_j F'(S_j) y_i, \tag{5}$$

$$T_j(t+1) = T_j(t) - \alpha \gamma_j F'(S_j). \tag{6}$$

Выражения (5) и (6), называемые обобщенным дельта-правилом, определяют правило обучения многослойных ИНС в общем виде.

V. Активационные функции

Для обеспечения сходимости алгоритма обратного распространения ошибки в качестве активационной функции предполагается использовать гиперболический тангенс. Таким образом, ИНС будет являться гомогенной, а выходное значение j -го нейрона определяться следующим образом:

$$y = \text{tg}(S_j) = \frac{e^{S_j} - e^{-S_j}}{e^{S_j} + e^{-S_j}},$$

где S_j – взвешенная сумма j -го нейрона. Поскольку производная этой функции имеет вид $F'(S_j) = 1 - y_j^2$, правило обучения можно представить в виде

$$\begin{aligned} \omega_{ij}(t+1) &= \omega_{ij}(t) - \alpha \gamma_j (1 - y_j^2) y_i, \\ T_j(t+1) &= T_j(t) - \alpha \gamma_j (1 - y_j^2), \end{aligned}$$

где t – номер итерации, α – значение шага обучения, γ_i – значение ошибки для i -го нейрона, T_j – значение порога j -го нейрона.

Ошибка для j -го нейрона выходного и скрытого слоев определяется следующим образом:

$$\begin{aligned} \gamma_j &= y_j - t_j, \\ y_j &= \sum_i \gamma_i (1 - y_i^2) \omega_{ij}. \end{aligned}$$

Для выполнения алгоритма обратного распространения ошибки необходимо выполнить следующие действия:

1) задать значения шага обучения α ($0 < \alpha < 1$) и желаемой среднеквадратичной ошибки E_m ;

2) придать случайные числовые значения весовым коэффициентам и пороговым значениям ИНС. В соответствии с рекомендацией, представленной в работе [39], весовым коэффициентам ω_{ij} предлагается придавать значения, примерно равные $\frac{1}{\sqrt{n(i)}}$, где $n(i)$ –

число элементов в слое i ;

3) последовательно подать образы из обучающей выборки на вход ИНС. При этом для каждого входного образа необходимо выполнить следующие действия:

а) произвести фазу прямого распространения образа по ИНС, при этом вычисляется выходная активность всех нейронов ИНС: $y_j = F\left(\sum_i \omega_{ij} y_i - T_j\right)$,

б) осуществить фазу обратного распространения сигнала, в результате которой определится ошибка нейронов γ_j для всех слоев ИНС. При этом, соответственно, для выходного и скрытого слоев: $\gamma_j = y_j - t_j$,

$$\gamma_j = \sum_i \gamma_i F'(S_j) \omega_{ji}. \tag{7}$$

В (7) i характеризует нейронные элементы следующего слоя по отношению к слою j .

в) Изменить весовые коэффициенты и пороги нейронных элементов для каждого слоя ИНС в соответствии с (5) и (6):

$$\begin{aligned} \omega_{ij}(t+1) &= \omega_{ij}(t) - \alpha \gamma_j F'(S_j) y_i, \\ T_j(t+1) &= T_j(t) - \alpha \gamma_j F'(S_j), \end{aligned}$$

4) Вычислить суммарную среднеквадратичную ошибку E : $E = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^L \sum_j (y_j^k - t_j^k)^2$,

где L – размерность обучающей выборки.

4) Если $E > E_m$, то происходит переход к шагу 3, в противном случае алгоритм заканчивается.

Таким образом, алгоритм функционирует до тех пор, пока суммарная среднеквадратичная ошибка ИНС не станет меньше заданной.

Для нейтрализации застраивания метода градиентного спуска в нежелательных минимумах предлагается применять метод тяжелого шарика [39]. В этом случае модификация синаптических связей ИНС будет осуществляться в соответствии с выражением

$$\Delta\omega_{ij}(t+1) = -\alpha\gamma_j F'(S_j)y_i + \xi\Delta\omega_{ij}(t),$$

где ξ – моментный параметр, выбираемый из диапазона [0; 1]. В соответствии с рекомендациями, представленными в работе [39], предлагается использовать значение $\xi = 0.9$.

VI. Выход

Для удобства интерпретации результата работы ИНС уместным является использование диапазона выходных значений от нуля (для обозначения отсутствия аномалии) до единицы (для обозначения наличия аномалии).

Однако с учетом выбора, сделанного в пользу использования в качестве метода обучения алгоритма обратного распространения ошибки (для гарантированной минимизации среднеквадратичной ошибки) и гиперболических тангенсов в качестве активационных функций (для обеспечения сходимости алгоритма обратного распространения ошибки), выходной сигнал *NET* будет принимать значения из диапазона от минус единицы до единицы. Таким образом, наличие аномалии в поведении пользователя предлагается интерпретировать выходом *NET*, равным единице, а отсутствие аномалии выходом *NET*, равным минус единице.

Результаты исследования

В качестве итоговой конфигурации был выбран трехслойный полносвязный гомогенный персептрон без обратных связей с пятью входными сигналами, одиннадцатью нейронами и гиперболическими тангенсами в качестве функций активации. В первом слое содержится три нейрона, в скрытом слое – семь и в выходном – один. Итоговая конфигурация подготовленной ИНС представлена на рис. 5.

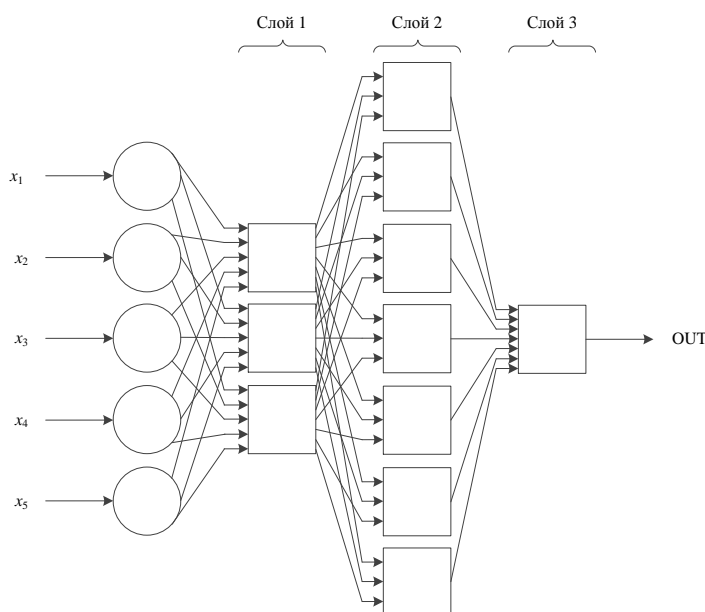


Рис. 5. Итоговая конфигурация ИНС

При возрастании числа нейронов в скрытых слоях, с одной стороны, растет точность, ИНС, но с другой – при слишком большой размерности скрытых слоев возникает явление перетренировки сети, ухудшающее обобщающие способности ИНС. Таким образом, число тренировочных образов должно быть больше числа нейронов в скрытом слое. В качестве обучающей выборки были взяты 30 комбинаций вектора \vec{x} , выражающих наборы поведенческих характеристик пользователя и формирующих образы, подаваемые на вход ИНС. В связи с ограниченной областью значений гиперболического тангенса обучающая

выборка была предварительно масштабирована к соответствующему диапазону значений. ИНС обучалась на обучающей выборке до достижения заданной среднеквадратичной ошибки. По окончании обучения для определения точности работы обученной сети использовалась тестовая выборка, состоящая из 10 комбинаций входных и выходных значений. При использовании тестовой выборки на входы сети подавались значения входов из тестовой выборки, затем значения полученных выходов сравнивались со значениями выходов тестовой выборки. В случае отличия значений полученных выходов от значений выходов тестовой выборки сеть проходила дообучение. Для итогового тестирования использовалась тестовая выборка, состоящая из пяти комбинаций.

Выводы

Рассмотрен актуальный подход к защите информации, основанный на применении технологии машинного обучения (теории искусственных нейронных сетей) и отличающейся от известных уникальным составом характеристик поведения пользователя (составом входных характеристик ИНС) и подходом к выбору ИНС. Подготовлена выборка характеристик санкционированных действий пользователей. Данная выборка использовалась для обучения трехслойного персептрона. Обучение проводилось в программном обеспечении *SPSS Statistics* (разработка компании *IBM*), предназначенном для статистической обработки данных.

После обучения нейронной сети была проведена проверка эффективности ее работы с помощью контрольной выборки. Относительная погрешность классификации данных составила примерно 10 %, что является достаточно хорошим результатом. При обучении ИНС использовались небольшие выборки, предназначенные для демонстрации общих принципов работы ИНС. Для применения представленного подхода в решении реальных прикладных задач защиты информации, выборки должны быть как можно больше.

Литература

1. Основы теории нейронных сетей. <http://www.intuit.ru/studies/courses/88/88/info> (дата обращения: 06.12.2017).
2. Круглов В.В., Дли М.И., Голунов Р.Ю. Нечеткая логика и искусственные нейронные сети. – М.: Физматлит, 2001. – 224 с.
3. Воронцов К.В. Лекции по искусственным нейронным сетям. <http://www.machinelearning.ru/wiki/images/c/cc/Voron-ML-NeuralNets.pdf> (дата обращения: 02.04.2018).
4. Лю Б. Теория и практика неопределенного программирования. – М.: БИНОМ, 2005. – 416 с.
5. Барский А.Б. Нейронные сети: распознавание, управление, принятие решений. – М.: Финансы и статистика, 2004. – 176 с.
6. Беркинблит М.Б. Нейронные сети. – М.: МИРОС, 1993. – 96 с.
7. Callan R. The Essence of Neural Networks. – London: Prentice Hall Europe, 1999. – 248 p.
8. Лукашик Е.П., Кочетов Д.А. Применение нейронных сетей для обнаружения сетевых атак / Традиционная и инновационная наука: история, современное состояние, перспективы: сб. статей по итогам Международной научно-практической конференции / Под ред. А. А. Сукиасяна – Стерлитамак: Агентство международных исследований, 2017. С. 24–27.
9. Зубков Е.В., Белов В.М. Методы интеллектуального анализа данных и обнаружения вторжений // Вестник СибГУТИ. 2016. № 1. С. 118–133.
10. Частикова В.А., Картамышев Д.А. К вопросу защиты информации от сетевых атак на основе нейронных сетей // Научные труды Кубанского государственного технологического университета. 2014. № 6. С. 101–104.
11. Кондратьев А.А., Талалаев А.А., Тищенко И.П., Фраленко В.П., Хачумов В.М. Методологическое обеспечение интеллектуальных систем защиты от сетевых атак // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 2. С. 119.
12. Васильев В.И., Шарabyров И.В. Обнаружение атак в локальных беспроводных сетях на основе интеллектуального анализа данных // Изв. ЮФУ. Технические науки. 2014. № 2 (151). С. 57–67.

13. Zhi-Peng Pan, Chao Feng, Chao-Jing Tang. Malware Classification Based on the Behavior Analysis and Back Propagation Neural Network. ITM Web of Conferences 7, 02001. 2016. P. 1–5. https://www.itm-conferences.org/articles/itmconf/pdf/2016/02/itmconf_ita2016_02001.pdf (дата обращения 02.03.2018).
14. Ларионова А.В., Хорев П.Б. Метод фильтрации спама на основе искусственной нейронной сети // Интернет-журнал «Науковедение». 2016. Т. 8. № 3(34). <https://naukovedenie.ru/PDF/04TVN316.pdf> (дата обращения: 03.04.2018).
15. Ларионова А.В., Хорев П.Б. Оценка эффективности фильтрации спама на основе искусственной нейронной сети // Интернет-журнал «Науковедение». 2016. Т. 8. № 2 (33). <https://naukovedenie.ru/PDF/134TVN216.pdf> (дата обращения: 03.04.2018).
16. Трапезников Е.В., Данилова О.Т. Модель анализа защиты информации на основе нейронной сети // Динамика систем, механизмов и машин. 2016. Т. 2. № 1. С. 302–308.
17. Данилова О.Т., Трапезников Е.В. Разработка модели, анализирующей функцию безопасности в системе информационной защиты, на основе нейронной сети // Информационное противодействие угрозам терроризма. 2015. № 24. С. 24–29.
18. Гильмуллин Т.М., Гильмуллин М.Ф. Подходы к автоматизации процесса валидации уязвимостей, найденных автоматическими сканерами безопасности, при помощи нечетких множеств и нейронных сетей // Фундаментальные исследования. 2014. № 11-2. С. 266–279.
19. Цырульник В.Ф., Кадочникова Н.А. Оценка актуальности угроз информационной безопасности с помощью программной реализации обученной нейронной сети // Научный альманах. 2016. № 4-3 (18). С. 211–215.
20. Соловьев С.В., Мамута В.В. Применение аппарата нейросетевых технологий для определения актуальных угроз безопасности информации информационных систем // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2016. Т. 8. № 5. С. 78–82.
21. Мухин В.Е., Корнага Я.И., Стешин В.В. Адаптивные средства защиты компьютерных систем на основе модифицированных нейронных сетей Кохонена // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Информатика. Телекоммуникации. Управление. 2014. № 2 (193). С. 31–38.
22. Штеренберг С.И., Виткова Л.А., Просихин В.П. Методика применения концепции адаптивной саморазвивающейся системы // Информационные технологии и телекоммуникации. 2014. № 4. С. 126–133.
23. Котенко И.В., Нестерук Ф.Г., Шоров А.В. Гибридная адаптивная система защиты информации на основе биометафор «нервных» и нейронных сетей // Инновации в науке. 2013. № 16-1. С. 79–83.
24. Вишняков В.А., Коваль О.И., Моздурани Шираз М.Г. Использование нейронных сетей для обнаружения и распознавания аномалий в корпоративной информационной системе предприятия // Доклады Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники. 2016. № 4. С. 86–92.
25. Улезло Д.С., Кадан А.М. Методы машинного обучения в решении задач информационной безопасности // Intelligent Technologies for Information Processing and Management (ITIPM'2015) Proceedings of the 3rd International Conference. 2015. С. 41–44.
26. Цветкова О.Л., Крепер А.И. О применении теории искусственных нейронных сетей в решении задач обеспечения информационной безопасности // Символ науки. 2017. № 04-2. С. 105–107.
27. Галушкин А.И. Нейрокомпьютеры и их применение. – М.: ИПРЖР, 2000. – 416 с.
28. Щавелев Л.В. Способы аналитической обработки данных для поддержки принятия решений. <http://infovisor.ivanovo.ru/press/paper04.html> (дата обращения: 03.04.2018).
29. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс. – М.: Вильямс, 2006. – 1104 с.
30. Shelestov A., Skakun S., Kissul O. Complex Neural Network Model of User Behavior in Distributed System// Knowledge-Dialogue-Solutions: International Conference. 2007. P. 1–8. http://inform.ikd.kiev.ua/content/ua/publications/articles/content/KDS07-Shelestov_Skakun_Kussul.pdf (дата обращения: 02.03.2018).
31. Нечеткие множества и теория возможностей. Последние достижения // Под ред. Р. Ягера. – М.: Радио и связь, 1986. – 408 с.
32. Колмогоров А.Н. О представлении непрерывных функций нескольких переменных в виде суперпозиций непрерывных функций одного переменного и сложения // Докл. АН СССР. 1957. Т. 114. С. 953–956.
33. Hornik K., Stinchcombe M., White H. Multilayer Feedforward Networks are Universal Approximators // Neural Network. 1989. № 2(5). P. 359–366.

34. Rojas R. Theorie der Neuronalen Netze: Eine Systematische Einfuehrung. Korrigierter Nachdruck. 1996. № 4.
35. Maxwell T., Giles C.L., Lee Y.C., Chen H.H. Nonlinear Dynamics of Artificial Neural Systems. 1986.
36. Rumelhart D., Hinton G., Williams R. Learning Representations by Back-Propagating Errors// Nature. 1986. Vol. 323. P. 533–536. doi:10.1038/323533a0.
37. Рудой Г.И. Выбор функции активации при прогнозировании нейронными сетями // Машинное обучение и анализ данных. 2001. Т. 1. № 1. С. 16–39.
38. Головкин В.А. Нейронные сети. Обучение, организация и применение. – М.: ИПРЖР, 2001. – 256 с.
39. Hertz J., Krogh A., Palmer R. Introduction to the Theory of Neural Computation. – Addison Wesley, Redwood City, 1991. – 327 p.

References

1. Osnovy teorii neironnykh setei [The Fundamentals of the Theory of Artificial Neural Networks]. Available at: <http://www.intuit.ru/studies/courses/88/88/info> (accessed 6 December 2017). (In Russian).
2. Kruglov V. V., Dli M. I., Golunov R. Iu. Nechetkaia logika i iskusstvennye neironnye seti. Moscow, Fizmatlit Publ., 2001. 224 p. (In Russian).
3. Vorontsov K.V. Lektsii po iskusstvennym neironnym setiam. Available at: <http://www.machinelearning.ru/wiki/images/c/cc/Voron-ML-NeuralNets.pdf> (accessed 2 April 2018). (In Russian).
4. Liu B. Teoriia i praktika neopredelennogo programmirovaniia. Moscow, BINOM Publ., 2005. 416 p. (In Russian).
5. Barskii A.B. Neironnye seti: raspoznavanie, upravlenie, priniatie reshenii. Moscow, Finansy i statistika Publ., 2004. 176 p. (In Russian).
6. Berkinblit M.B. Neironnye seti: Uchebnoe posobie. Moscow, MIROS Publ., 1993. 96 p. (In Russian).
7. Callan R. The Essence of Neural Networks. London, Prentice Hall Europe, 1999. 248 p.
8. Lukashchik E.P., Kochetov D.A. Primenenie neironnykh setei dlia obnaruzheniia setevykh atak [The Use of Neural Networks to Detect Network Attacks. In: Scientific Collection “Traditsionnaia i innovatsionnaia nauka: istoriia, sovremennoe sostoianie, perspektivy”]. Eds. A. A. Sukiasian. Sterlitamak, Agentstvo mezhdunarodnykh issledovaniy Publ., 2017. Pp. 24–27 (In Russian).
9. Zubkov E.V., Belov V.M. Metody intellektual'nogo analiza dannykh i obnaruzheniia vtorzhenii. Vestnik SibGUTI, 2016, no. 1, pp 118–133 (In Russian).
10. Chastikova V.A., Kartamyshev D.A. K voprosu zashchity informatsii ot setevykh atak na osnove neironnykh setei [To the Issue of Protection of Information from Network Attacks Based on Neural Networks. In: Scientific Collection of Kuban State Technical University]. 2014. no. 6. Pp. 101–104 (In Russian).
11. Kondrat'ev A.A., Talalaev A.A., Tishchenko I.P., Fralenko V.P., Khachumov V.M. Metodologicheskoe obespechenie intellektual'nykh sistem zashchity ot setevykh atak. Sovremennye problemy nauki i obrazovaniia, 2014, no. 2, p. 119 (In Russian).
12. Vasil'ev V.I., Sharabyrov I.V. Obnaruzhenie atak v lokal'nykh besprovodnykh setiakh na osnove intellektual'nogo analiza dannykh. Izvestiia IuFU. Tekhnicheskie nauki, 2014, no. 2(151), pp 57–67 (In Russian).
13. Zhi-Peng PAN, Chao FENG, Chao-Jing TANG. Malware Classification Based on the Behavior Analysis and Back Propagation Neural Network. ITM Web of Conferences 7, 02001, 2016. P. 1–5. Available at: https://www.itm-conferences.org/articles/itmconf/pdf/2016/02/itmconf_ita2016_02001.pdf (accessed: 2 March 2018).
14. Larionova A.V., Khorev P.B. Metod fil'tratsii spama na osnove iskusstvennoi neironnoi seti. Internet-zhurnal «Naukovedenie», 2016, vol. 8, no 3(34). Available at: <https://naukovedenie.ru/PDF/04TVN316.pdf> (accessed 3 April 2018). (In Russian).
15. Larionova A.V., Khorev P.B. Otsenka effektivnosti fil'tratsii spama na osnove iskusstvennoi neironnoi seti. Internet-zhurnal «Naukovedenie», 2016, vol. 8, no 2(33). Available at: <https://naukovedenie.ru/PDF/134TVN216.pdf> (accessed 3 April 2018). (In Russian).
16. Trapeznikov E.V., Danilova O.T. Model' analiza zashchity informatsii na osnove neironnoi seti. Dinamika sistem, mekhanizmov i mashin, 2016, vol. 2, no. 1, pp 302–308 (In Russian).
17. Danilova O.T., Trapeznikov E.V. Razrabotka modeli, analiziruiushchei funktsiiu bezopasnosti v sisteme informatsionnoi zashchity, na osnove neironnoi seti. Informatsionnoe protivodeistvie ugrozam terrorizma, 2015, no. 24, pp 24–29 (In Russian).

18. Gil'mullin T.M., Gil'mullin M.F. Podkhody k avtomatizatsii protsessa validatsii uiazvimostei, naidennykh avtomaticheskimi skanerami bezopasnosti, pri pomoshchi nechetkikh mnozhestv i neironnykh setei. *Fundamental'nye issledovaniia*, 2014, no. 11-2, pp 266–279 (In Russian).

19. Tsyru'nik V.F., Kadochnikova N.A. Otsenka aktual'nosti ugroz informatsionnoi bezopasnosti s pomoshch'iu programmnoi realizatsii obuchennoi neironnoi seti. *Nauchnyi al'manakh*, 2016, no. 4-3(18), pp 211–215 (In Russian).

20. Solov'ev S.V., Mamuta V.V. Primenenie apparata neurosetevykh tekhnologii dlia opredeleniia aktual'nykh ugroz bezopasnosti informatsii informatsionnykh sistem. *Naukoemkie tekhnologii v kosmicheskikh issledovaniakh Zemli*, 2016, vol. 8, no. 5, pp 78–82 (In Russian).

21. Mukhin V.E., Kornaga Ia.I., Steshin V.V. Adaptivnye sredstva zashchity komp'iuternykh sistem na osnove modifitsirovannykh neironnykh setei Kokhonena. *Nauchno-tekhnicheskie vedomosti Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo politekhnicheskogo universiteta. Informatika. Telekommunikatsii. Upravlenie*, 2014, no. 2(193), pp 31–38 (In Russian).

22. Shterenberg S.I., Vitkova L.A., Proskhin V.P. Metodika primeneniia kontseptsii adaptivnoi samorazvivaiushcheisia sistemy. *Informatsionnye tekhnologii i telekommunikatsii*, 2014, no. 4(8), pp 126–133 (In Russian).

23. Kotenko I.V., Nesteruk F.G., Shorov A.V. Gibridnaia adaptivnaia sistema zashchity informatsii na osnove biometafor «nervnykh» i neironnykh setei. *Innovatsii v nauke*, 2013, no. 16-1, pp 79–83 (In Russian).

24. Vishniakov V.A., Koval' O.I., Mozdurani Shiraz M.G. Ispol'zovanie neironnykh setei dlia obnaruzheniia i raspoznavaniia anomalii v korporativnoi informatsionnoi sisteme predpriiatiia. *Doklady Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta informatiki i radioelektroniki*, 2016, no. 4(98), pp 86–92 (In Russian).

25. Ulezlo D.S., Kadan A.M. Metody mashinnogo obucheniia v reshenii zadach informatsionnoi bezopasnosti. *Intelligent Technologies for Information Processing and Management (ITIPM'2015) Proceedings of the 3rd International Conference*, 2015, pp 41–44 (in Russian).

26. Tsvetkova O.L., Kreper A.I. O primeneniia teorii iskusstvennykh neironnykh setei v reshenii zadach obespecheniia informatsionnoi bezopasnosti. *Simvol nauki*, 2017, no. 04-2, pp 105–107 (In Russian).

27. Galushkin A.I. *Neirokomp'iutery i ikh primeneniie*. Moscow, IPRZhR Publ., 2000. 416 p. (In Russian).

28. Shchhavelev L.V. Sposoby analiticheskoi obrabotki dannykh dlia podderzhki priniatiia reshenii. Available at: <http://infovisor.ivanovo.ru/press/paper04.html> (accessed: 3 April 2018). (In Russian).

29. Khaikin S. *Neironnye seti: polnyi kurs*. – Moscow, Izdatel'skii dom «Vil'iams» Publ., 2006. 1104 p. (In Russian).

30. Shelestov Andrii, Skakun Serhiy, Kissul Olga. Complex Neural Network Model of User Behavior in Distributed System. *International Conference «Knowlegge-Dialogue-Solutions»*, 2007. P. 1 – 8. Available at: http://inform.ikd.kiev.ua/content/ua/publications/articles/content/KDS07-Shelestov_Skakun_Kussul.pdf (accessed 2 March 2018).

31. Nechetkie mnozhestva i teoriia vozmozhnostei. *Poslednie dostizheniia // Pod red. Ronal'da R. Iagera*. Moscow, Radio i sviaz' Publ., 1986. 408 p. (In Russian).

32. Kolmogorov A.N. O predstavlenii nepreryvnykh funktsii neskol'kikh peremennykh v vide superpozitsii nepreryvnykh funktsii odnogo peremennogo i slozheniia. *Proc. of Academy of Sciences*. 1957. Pp. 953–956 (In Russian).

33. Hornik K., Stinchcombe M., White H. Multilayer feedforward networks are universal approximators. *Neural Networks*, 1989, no. 2(5). P. 359 – 366.

34. Rojas R. *Theorie der neuronalen netze: Eine systematische einfuehrung. Korrigierter Nachdruck*. 1996, no. 4.

35. Maxwell T., Giles C.L., Lee Y.C., Chen H.H. *Nonlinear dynamics of artificial neural systems*. 1986.

36. Rumelhart D., Hinton G., Williams R. Learning representations by back-propagating errors. *Nature*, 1986. P. 533 – 536. doi:10.1038/323533a0

37. Rudoi G.I. Vybory funktsii aktivatsii pri prognozirovaniia neironnymi setiami. *Mashinnoe obuchenie i analiz dannykh*, 2001, vol. 1, no. 1, pp 16–39 (In Russian).

38. Golovko V.A. *Neironnye seti obuchenie, organizatsiia i primeneniie*. Moscow, IPRZhR Publ., 2001. 256 p. (In Russian).

39. Hertz J., Krogh A., Palmer R. *Introduction to the theory of neural computation*. Addison Wesley, Redwood City, 1991. 327 p.

Статья поступила 12 августа 2019 г.

Информация об авторах

Козин Иван Сергеевич – Начальник отдела АО «Кронштадт Технологии». Область научных интересов: информационная безопасность; машинное обучение. Тел.: +7(921)8904713. E-mail: van@trioptimum.com. Адрес: 199178, Россия, Санкт-Петербург, Малый пр. В.О., д. 54, к. 5.

Рошин Александр Александрович – Начальник отдела ПАО «Интелтех». Кандидат технических наук, доцент. Область научных интересов: защита информации. Тел.: +7(911)7521352. E-Mail: intelteh@inteltech.ru. Адрес: 197342, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Кантемировская, д. 8.

Method of Protection of Data in its Processing in Information System Based on the Machine Learning

I.S. Kozin, A.A. Roshchin

Annotation. Introduction: to the information technologies development are creating new classes of data protection software in its processing in information systems. One of the classes of the protection software is a User Behavior Analytics systems. To develop behavior analytics systems one of the most widespread are gets methods of machine learning, including application of mathematics of artificial neural networks theory. However, the approaches to development of protection software, based on machine learning, had not studied enough. **Purpose:** developing the method of creation of the artificial neural network, ensuring analytics of authorizing behavior of an information systems user and detecting abnormalities in a behavior, that signals about criminal activity. **Results:** A review of protection the information based on the artificial neural networks had been made of their intensive development on different ways, including the behavior analytics. A method had been of creation of the artificial neural network, including proposal to determinate of neural networks type, numeric values range of the input and output signals, numbers of the layers and neurons in the layers, learning method, and types of activation functions. Users behavior characteristics had been offered to use sample input values: set of users data; source of access to information system; set of users actions; time of access or actions; general duration of runtime operations. Based on user's access method an approach had been proposed to give numeric values to the characteristics of user's behavior, based on application of a mathematics of fuzzy set theory. **Practical relevance:** learned neural network provides more effective detecting abnormalities in user behavior than analyze by information security specialist without using the special automation tools.

Keywords: Information Security, Behavior Analytics, Artificial Neural Networks, Machine Learning, Fuzzy Set Theory

Information about Authors

Kozin Ivan Sergeevich – Department Lead, JSC «Kronstadt Technologies». Field of research: information security; machine learning. Tel.: +7 921 8904713. E-mail: van@trioptimum.com. Address: Russia, 199178, Saint-Petersburg, Maliy pr. V.O., 54/5.

Roshchin Aleksandr Aleksandrovich – Department Lead of PJSC «Inteltech». PhD, assistant professor. Field of research: information security. Tel.: +7 921 8904713. E-mail: intelteh@inteltech.ru. Address: Russia, 197342, Saint-Petersburg, ul. Kantemirovskaya, 8.

Для цитирования: Козин И.С., Рошин А.А. Метод обеспечения безопасности информации при её обработке в информационной системе на основе машинного обучения // Техника средств связи. 2019. № 4 (148). С. 70-82.

For citation: Kozin I.S., Roshchin A.A. Method of Protection of Data in its Processing in Information System Based on the Machine Learning // Means of communication equipment. 2019. №4 (148). P. 70-82. (In Russian).

РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ

УДК: 681.51:007.52

Обеспечение информационного обмена в группе глубоководных робототехнических комплексов морского базирования

Рыжкова Д. Н.

Аннотация. Постановка задачи: рассматривается структура передаваемых сообщений для робототехнических комплексов морского базирования, прием и моделирование работы протокола обмена (управления) в группе комплексов. **Целью работы** является повышение эффективности обмена данными с глубоководными робототехническими комплексами. **Используемые методы:** теоретические заделы в области обеспечения обмена информацией в подводном положении совместно с имитационным моделированием протокола управления. **Новизна** состоит в рассмотрении информационного обмена по гидроакустическому каналу в группе робототехнических комплексов, которая управляется автономно. **Результат** заключается в предлагаемой структуре приемного модема, обеспечивающей многоканальный прием гидроакустических сигналов, а также модели протокола управления группой робототехнических комплексов. **Практическая значимость:** предложенная структурная схема построения гидроакустического модема принципиально позволяет повысить помехоустойчивость приема, а также унифицировать средства связи роботов. Разработанная модель работы протокола JSON в среде OMNET++ может использоваться в основе дальнейших исследований организации управления группой робототехнических комплексов.

Ключевые слова: робототехнический комплекс морского базирования, гидроакустический канал, параметрическая аппаратура, алгоритмы управления в группе робототехнических комплексов

Введение

Благодаря современным высокоэффективным вычислительным системам, обладающим относительно низким уровнем энергопотребления, широко развивается направление разработки робототехнических комплексов и, в частности, робототехнических комплексов морского базирования (РТК МБ). Автономные РТК МБ способны выполнять огромный спектр миссий (поисково-спасательные операции, донная геологоразведка, патрулирование береговых линий и трубопроводов и пр.). Для выполнения миссий необходим информационный обмен РТК МБ с базовым пунктом управления (БПУ) [1]. Известные на сегодняшний день методы обмена информацией с РТК МБ в большей степени подразумевают использование каналов радиосвязи. Однако, для осуществления сеансов радиосвязи РТК МБ необходимо выполнять всплытия, увеличение числа которых уменьшает вероятность и оперативность выполнения миссии.

Для повышения вероятности выполнения миссии применяется группа из нескольких РТК МБ. Для эффективного функционирования группы РТК МБ требуется наличие единого управления (интеллекта группы). В публикациях по данной теме встречаются следующие варианты: интеллектом группы является один РТК МБ, либо интеллект группы находится на берегу и располагает надежным каналом двусторонней связи с БПУ (что требует исследований).

В данной статье предлагается рассмотреть ситуацию, когда интеллект группы закреплен за глубоководным РТК МБ и при этом, в случае необходимости, может быть оперативно возложен на другой РТК МБ из группы. Очевидно, что при групповом выполнении миссии необходимо наличие помимо канала связи с БПУ еще и канал взаимодействия внутри группы.

1 Пути обеспечения информационного обмена с глубоководными РТК МБ**1.1 Пути обеспечения доведения информации до РТК МБ в подводном положении**

Для решения задачи по обеспечению информационного взаимодействия с РТК МБ в работах [2-5] рассматривается использование всевозможных видов подводной связи, среди которых: оптическая, гидроакустическая, электромагнитная связь и др. Наиболее оправданным является применение гидроакустического канала (ГАК) для связи с РТК МБ в подводном положении. Как известно, ГАК характеризуется многолучевостью, реверберацией,

флуктуациями амплитуд на входе приемника, а также важно учитывать наличие доплеровского сдвига частоты, явления кавитации на излучателе и явление внутрисимвольной интерференции.

1.2 Гидроакустические сигналы

Большинство существующих способов повышения помехоустойчивости гидроакустических систем связано главным образом с уменьшением скорости передачи информации, что порой бывает совершенно не приемлемо при выполнении важных миссий робототехническими комплексами под водой. Для повышения помехоустойчивости передачи и снижения влияния многолучевости предлагается применение частотной модуляции сигналов и каскадных кодов.

В работе [6] рассмотрена структура построения специальной радиолинии КВ-диапазона, которую можно использовать как систему связи для РТК МБ в надводном положении. В ходе исследования в [6] выявлены положительные результаты применения данной структуры: снижение вероятности пакетирования ошибок и, как следствие, повышение корректирующей способности кодов; имеется возможность восстановить переданное сообщение благодаря одновременному параллельному приему элементов сообщения в четырех диапазонах частот.

1.3 Особенности обеспечения взаимодействия с группой РТК МБ

В ходе выполнения поставленной перед РТК МБ задачи может случиться выход из строя комплекса, что необходимо учитывать для оценки вероятности выполнения поставленной миссии, особенно при дальних дистанциях от базового пункта управления. Успешность выполнения миссии напрямую зависит от работоспособности комплексов РТК МБ, а также их скрытности. По этой причине представляется рациональным рассматривать группу из нескольких РТК МБ и заложить в алгоритмы ее функционирования скрытность работы.

Сеанс связи РТК МБ с БПУ – это обмен информацией через спутниковый канал связи при осуществлении всплытия над поверхностью моря. Публикации, к примеру, [7, 8], подтверждают, что перспективным направлением является выполнение миссий группой из нескольких РТК МБ. Принципиально возможно два варианта выполнения миссии: 1 вариант – самостоятельное выполнение миссии каждым РТК МБ; 2 вариант – выполнение миссии в группе при наличии общего управляющего «интеллекта». Работа по 1 варианту подразумевает индивидуальные для всех РТК МБ выходы на связь с БПУ, что снижает вероятность выполнения миссии из-за осуществления всплытий. Работа по 2 варианту потенциально обладает возможностью повысить вероятность выполнения миссий.

1.4 Сеть связи между РТК МБ в группе

При изучении вопроса построения инфокоммуникационной сети связи между РТК МБ в группе при выполнении миссии необходимо рассмотреть вопрос алгоритмов и протоколов функционирования сети. С точки зрения алгоритмов функционирования (управления ходом миссии) в сети связи при выполнении миссии следует рассмотреть режим выхода на связь элементов группы и доступ к среде передачи, а также определение минимально необходимой информации для передачи. С точки же зрения протоколов функционирования (управления и интеллектуального сопровождения миссии) сети необходимо рассмотреть вопрос управления телекоммуникационным оборудованием. В качестве такого протокола может выступать протокол *SNMP* [9], однако в среде *IT* его более ранние версии (v.1, v.2) признаются безнадежно устаревшими [10], а поздняя версия (v.3) специалистами признается достаточно сложной в практическом применении [11]. В качестве основы разрабатываемого протокола управления и интеллектуального сопровождения миссии можно рассматривать протокол *JSON*, который проще в реализации и менее ресурсоемок в сравнении с *SNMP*. В основе процедуры обмена данными можно рассматривать метод *GET* протокола *HTTP*, т. е. метод запроса объекта.

2 Информационный обмен между глубокопогруженными РТК МБ в группе

2.1 Формирование гидроакустических сигналов для передачи информации

Явление нелинейной гидроакустики основывается на взаимодействии двух или более волн обычно ультразвукового диапазона и большой интенсивности. Взаимодействие нескольких

волн с частотами «накачки» f_1 и f_2 порождает возникновение волн с новыми частотами. В свою очередь волны с частотами f_1 , f_2 и (f_1+f_2) , а также высшие гармоники в ГАК имеют высокий коэффициент затухания. В среде начинает распространяться волна разностной частоты с гораздо меньшим коэффициентом затухания. Параметрические излучатели позволяют формировать узкую диаграмму направленности и имеют достаточно хорошее разрешение по частоте [12, 13].

Параметрическая антенна имеет относительно малые массогабаритные показатели, а также практически полное отсутствие боковых лепестков диаграммы направленности. Дополнительное преимущество заключается в отсутствии явления кавитации на излучателе. За всеми перечисленными достоинствами параметрических антенн скрывается главный ее недостаток – низкий КПД преобразования. Учитывая перечисленные значимые достоинства, конструкция и установка таких антенн на РТК МБ нуждается в дальнейших исследованиях.

2.2 Обработка гидроакустических сигналов

Вариант структуры построения гидроакустического приемника для РТК МБ

На рис. 1 представлена структура многоканального приемника для РТК МБ, реализующая многоканальный прием и пространственную обработку сигналов.

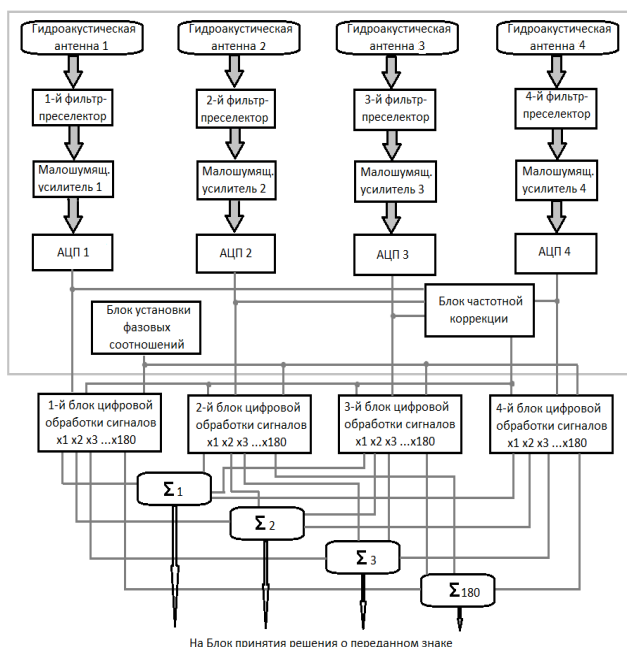


Рис. 1. Многоканальный прием в ГАК

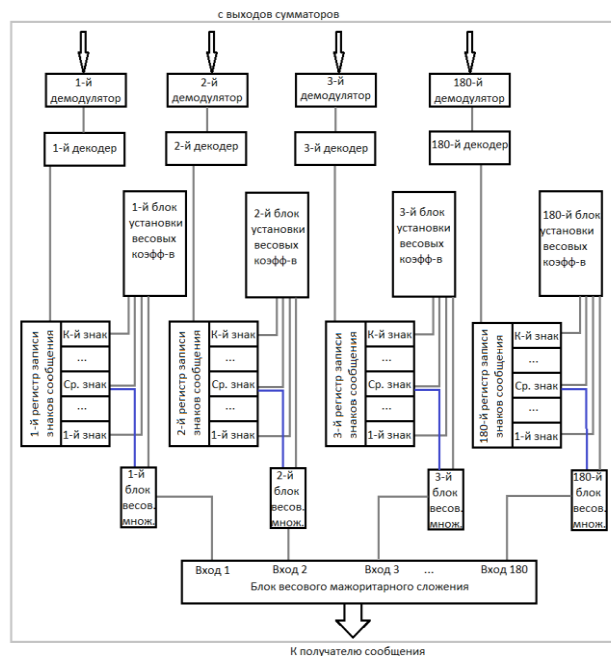


Рис. 2. Принятие решений о переданном знаке

Прием в ГАК осуществляется с гидроакустической антенны – четырехэлементной активной фазированной антенной решетки, которая представляет собой набор параметрических приемников (или параметрических излучателей в режиме передачи). На рис. 2 приведен блок принятия решения о переданном знаке. В данном блоке представлен алгоритм весовой мажоритарной обработки методом «среднего знака» [14]. Метод мажоритарного сложения, изложен в [14, 15]. Важно отметить, что проработка такой структуры построения гидроакустического приемника для РТК МБ может позволить унифицировать средства связи на нем, поскольку приведенные схемы на рис. 1 и 2 принципиально могут использоваться и для обработки радиосигнала, поступающего с радиоантенны.

3 Телекоммуникационная сеть в гидроакустическом канале между глубокопогруженными РТК МБ в группе

Всем РТК МБ следует хранить данные о ходе выполнения миссии, но принимать решения РТК МБ может только в случае наделения его полномочиями управляющего группой, т. е. назначением РТК МБ-«Лидером». РТК МБ-«Лидер» выполняет интеллектуальное сопровождение

ние миссии и в случае необходимости может возложить полномочия управляющего на другой РТК МБ группы по алгоритму выбора главного (рис. 3-7). Далее в работе при моделировании обмена данными, для простоты построения модели рассматривается ситуация, когда управляющий группой («Лидер») поочередно опрашивает всех РТК МБ группы. Рассматриваемая в модели инфокоммуникационная сеть функционирует в режиме временного разделения каналов, любой РТК МБ из группы выходит на связь только по запросу от РТК МБ-«Лидера».

3.1 Интеллектуальное сопровождение миссии. Алгоритм управления группой

Для разработки алгоритма управления необходимо зафиксировать функции, выполняемые элементами группы (табл. 1).

Таблица 1 – Распределение функций между элементами группы РТК МБ

<i>РТК МБ-«Лидер»</i>	<i>РТК МБ группы («не Лидер»)</i>
Сбор данных от каждого РТК МБ о ходе миссии; Расчет координат нахождения группы на основе ГЛОНАСС/GPS (рис.6); Принятие решения о необходимости проведения сеанса связи с БПУ; Назначение РТК МБ из группы, который выполняет всплытие для сеанса связи с БПУ (рис. 5, рис. 7); Получение данных от РТК МБ, осуществившего всплытие и сеанс связи с БПУ; Мониторинг и построение топологии расположения РТК МБ из группы; Принятие решения о смене РТК МБ-«Лидера» (рис.3, рис.4)	Мониторинг водной среды или другой сбор информации в рамках выполнения миссии; Передачу данных о проведенном мониторинге РТК МБ-«Лидеру»; Осуществление всплытия для корректировки данных о координатах (ГЛОНАСС/GPS); Осуществление всплытия для корректировки данных о координатах (ГЛОНАСС/GPS) и проведение сеанса связи с БПУ по спутниковому каналу связи; Поддержание актуальности своей базы данных о ходе выполнения миссии путем взаимодействия с РТК МБ-«Лидером».

РТК МБ-«Лидер» целесообразно оставаться в «центре» топологии, т. е. иметь в зоне гидроакустической видимости (не более 100 км для частоты 10 кГц – по оценке в [16]) все другие РТК МБ группы. В [16] приводится описание алгоритма управления группой.

3.2 Моделирование в среде *OMNET++* протокола обмена управляющей информацией в группе РТК МБ

В качестве основы протокола управления и интеллектуального сопровождения миссии рассматривается протокол *JSON*. Разработка имитационной модели протокола управления в среде *OMNET++* проводилась с применением программной платформы *.NET Framework v.3.6.3*.

Для относительной простоты выполнения моделирования рассматривается статическая ситуация, когда в качестве РТК МБ-«Лидера» выбран определенный РТК МБ и алгоритм смены лидера не применяется. В свою очередь РТК МБ в ходе обмена управляющей информацией (рис. 8) передает РТК МБ-«Лидеру» информацию: уникальный идентификатор (*Num*), заряд батареи (%), техническое состояние (*TechState*), координаты нахождения (*XYZ*), информацию о ходе миссии (*InfoAboutMission*). После единичного обмена управляющей информацией РТК МБ-«Лидер» обращается к следующему РТК МБ из группы. На рис. 9 приведена разработанная топология структуры построения модели телекоммуникационной подводной сети связи между РТК МБ в случае группы из четырех РТК МБ (управляющий *Robot0* и трех управляемых РТК МБ *Robot1,2,3*). В основе системы обмена данными рассматривается модель *HTTP*-протокола. Модель Райсовского канала связи *RicianFading* заложена как модель многолучевого распространения сигнала. Модель шумов задана как *IsotropicScalarBackgroundNoise*. Эта модель фонового шума описывает изотропный шум, неизменный в пространстве, по времени и частоте.

Разработанная имитационная модель протокола управления позволяет варьировать такими важными параметрами, как: число РТК МБ в группе, рабочая частота передачи, размер передаваемых пакетов, максимальное расстояние между РТК МБ группы и РТК-«Лидером» и др.

Выводы

1. Гидроакустическая связь является наиболее подходящим методом обмена информацией под водой среди РТК МБ.

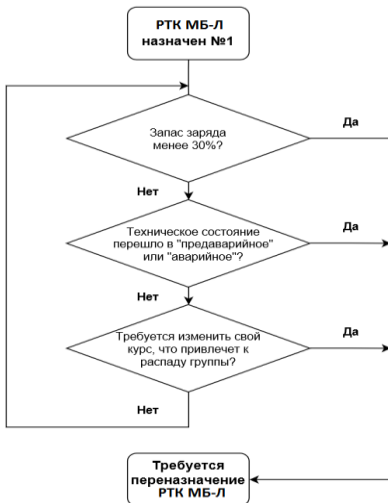


Рис. 3. Алгоритм для выполнения перебора РТК МБ-«Лидера»

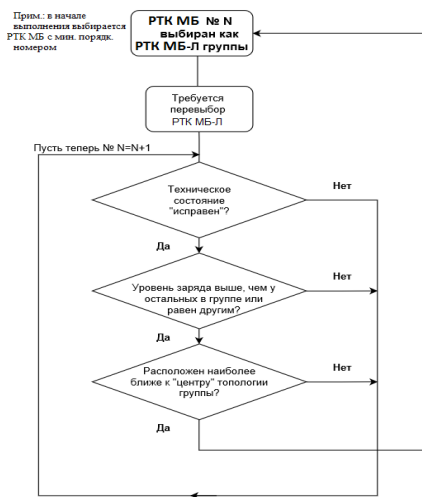


Рис. 4. Алгоритм выбора РТК МБ-«Лидера» для двух сценариев выполнения миссии

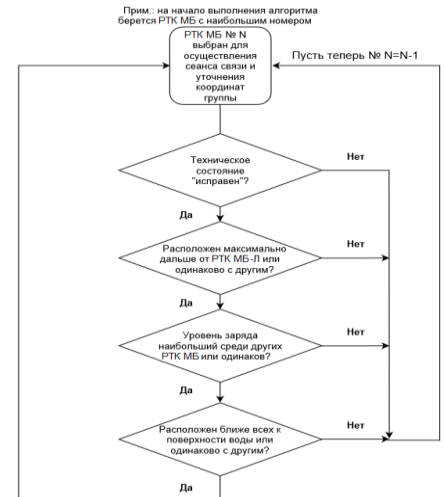


Рис. 5. Алгоритм выбора РТК МБ по сценарию «скрытность» для сеанса связи и сверки координат

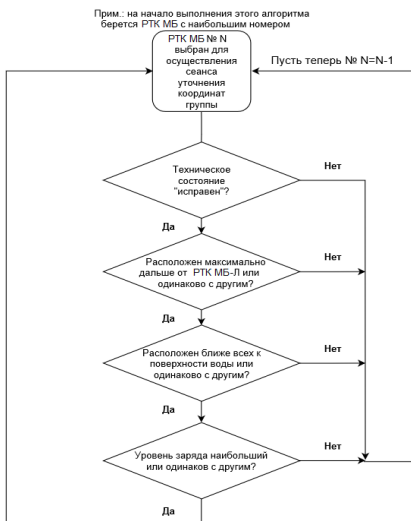


Рис. 6. Алгоритм выбора РТК МБ по сценарию «скрытность» для сверки координат

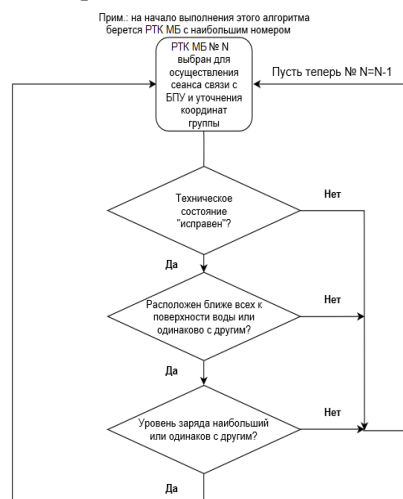


Рис. 7. Алгоритм выбора РТК МБ по сценарию «скорость» для сеанса связи и сверки координат

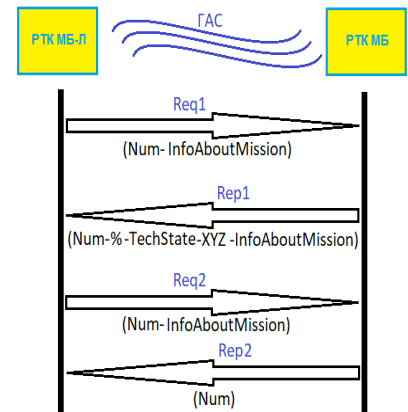


Рис. 8. Единичный обмен управляющей информацией

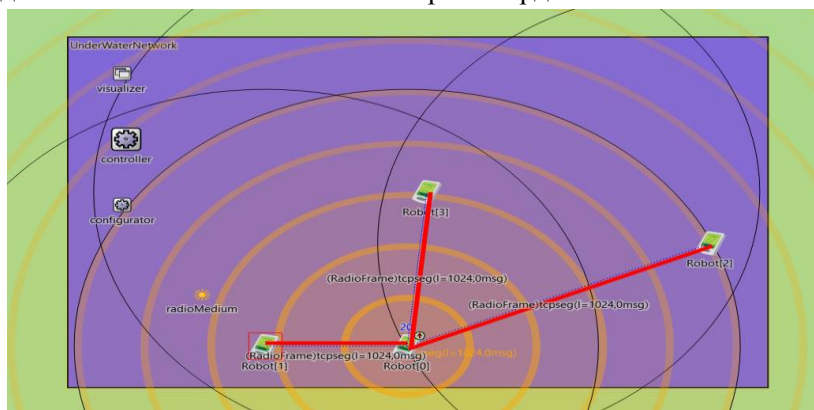


Рис. 9. Модель телекоммуникационной подводной сети связи между РТК МБ

2. Обмен данными между РТК МБ в подводном положении на значительные расстояния достигается системой гидроакустической связи за счет снижения скорости передачи информации при условии подавления помех от сторонних излучателей и автоматического учета эффекта Доплера. Предложенная в работе схема потенциально позволяет повышать скорость передачи

данных благодаря наличию нескольких каналов. Также данная схема принципиально может позволить унифицировать средства связи, например, комплекса РТК МБ.

3. Разработанная имитационная модель гидроакустического канала адекватна и может использоваться для проведения различных исследований.

Литература

1. Автономные подводные роботы. Системы и технологии / Под ред. М.Д. Агеева. – С.: Наука, 2005. 398 с.
2. Стопцов Н.А., Бойцов В.И., Шелемин В.Н. Связь под водой. – Л.: Судостроение, 1990. – 248 с.
3. Шибков А.Н. Подводная связь и навигация с использованием электромагнитного поля. Дисс. д.т.н. – Владивосток: ДВГУ. 2006. 284 с.
4. Шайдуров Г.Я., Кудинов Д.С. Энергетический потенциал и тактико-технические возможности использования эффекта параметрической демодуляции для подводного радиоприема сигналов в морской воде // Журнал радиоэлектроники. №2. 2012.
5. Буданов С.П. и др. Диаграмма направленности гидрооптического приемника акустических колебаний // Оптический журнал. 2004. Т. 71. № 4. С. 34–38.
6. Рыжкова Д.Н. Метод доведения информации до глобально удаленных объектов в КВ-диапазоне: выпускная работа бакалавра / Санкт-Петербургский государственный политехнический университет. – СПб.: 2016. 40 с.
7. Бычков И.В., Кензин М.Ю., Максимкин Н.Н., Хмельнов А.Е., Киселев Л.В., Инзарцев А.В. Ситуационное управление группировкой автономных подводных роботов на основе генетических алгоритмов // Подводные исследования и робототехника. 2009. №2 (8). С. 34-43.
8. Кензин М.Ю., Бычков И.В., Максимкин Н.Н., Киселев Л.В. Планирование динамических многоцелевых миссий для групп автономных необитаемых подводных аппаратов на основе гибридного эволюционного подхода // XII Всероссийское совещание по проблемам управления. 2014.
9. Олифер В., Олифер Н. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: Учебник для вузов. 5-е изд. – СПб.: Питер, 2016. 992 с.
10. Электронный ресурс: [<http://www.snmp.ru/doku.php>] Дата обращения 14.05.2018 г.
11. Электронный ресурс: [<http://rus-linux.net/MyLDP/admin/snmp.html>] Дата обращения 14.05.2018г.
12. Бахарев С.А., Карасев В.В. Использование методов и средств нелинейной гидроакустики в рыбопоисковой технике. Учеб. пособие. – Владивосток: Дальрыбвтуз, 2001. 105 с.
13. Новиков Б.К., Руденко О.В., Тимошенко В.И. Нелинейная гидроакустика. – Л.: Судостроение, 1981. 264 с.
14. Жуков Г.А., Попков В.Я. О методах определения весовых коэффициентов для дискретного сложения сигналов, принятых по параллельным каналам // Тезисы докладов VIII симпозиума по проблеме избыточности в информационных системах. Часть 2. – Ленинград: Академия наук СССР, Ленинградский институт авиационного приборостроения, 1983. – С. 94-97.
15. Жуков Г.А. Методы весовой мажоритарной обработки дискретной информации при приеме по параллельным каналам // Техника средств связи. Сер. ТПС, 1983. Вып. 8. С. 74–84.
16. Рыжкова Д.Н. Обеспечение информационного обмена между глубокопогруженными автономными необитаемыми подводными аппаратами в группе / Выпускная квалификационная работа магистра / Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого. – СПб.: 2018. 67 с.

References

1. Autonomous underwater robots. Systems and Technologies. Ed. M.D. Ageeva. S.: Nauka, 2005. 398 p.
2. Stopt N.A., Boytsov V.I., Shelemin V.N. Communication under water. L.: Shipbuilding, 1990. 248 p.
3. Shibkov A.N. Underwater communications and navigation using an electromagnetic field. Diss. Doctor of Technical Sciences. Vladivostok: FENU. 2006. 284 p.
4. Shaidurov G.Ya., Kudinov D.S. Energy potential and tactical and technical possibilities of using the parametric demodulation effect for underwater radio reception of signals in sea water. Journal of Radioelectronics. №. 2. 2012.
5. Budanov S.P. et al. Directivity pattern of a hydrooptical receiver of acoustic oscillations. Optical Journal. 2004. V. 71. Number 4. S. 34–38.
6. Ryzhkova D.N. Method for bringing information to globally distant objects in the HF range: graduate work of a bachelor. St. Petersburg State Polytechnic University. St. Petersburg, 2016.40 p.

7. Bychkov I.V., Kenzin M.Yu., Maksimkin N.N., Khmel'nov A.E., Kiselev L.V., Inzartsev A.V. Situational management of a group of autonomous underwater robots based on genetic algorithms. *Underwater Research and Robotics*. 2009. No. 2/8. S. 34-43.
8. Kenzin M.Yu., Bychkov IV, Maksimkin NN, Kiselev LV Planning dynamic multipurpose missions for groups of autonomous uninhabited underwater vehicles based on a hybrid evolutionary approach. XII All-Russian meeting on control problems. 2014.
9. Olifer V., Olifer N. Computer networks. Principles, technologies, protocols: Textbook for universities. 5th ed. SPb.: Peter, 2016. - 992 p. (Series "Textbook for universities").
10. Electronic resource: [<http://www.snmp.ru/doku.php>] Date of treatment 05/14/2018.
11. Electronic resource: [<http://rus-linux.net/MyLDP/admin/snmp.html>] Date of access 05/14/2018.
12. Bakharev S.A., Karasev V.V. The use of methods and means of nonlinear hydroacoustics in fishing technology. Textbook allowance. Vladivostok-Dalrybvuz, 2001. 105 p.
13. Novikov B.K., Rudenko O.V., Timoshenko V.I. Nonlinear sonar. - L.: Shipbuilding, 1981. - 264 p.
14. Zhukov G.A., Popkov V.Ya. On methods for determining weighting coefficients for discrete addition of signals received via parallel channels // Abstracts of the VIII symposium on the problem of redundancy in information systems. Part 2. Leningrad: USSR Academy of Sciences, Leningrad Institute of Aviation Instrumentation, 1983. P. 94-97.
15. Zhukov G.A. Methods of weighted majority processing of discrete information when receiving on parallel channels. *Communication technology*. Ser. TPN, 1983. Issue. 8, p. 74-84.
16. Ryzhkova D.N. Ensuring information exchange between deep-seated autonomous uninhabited underwater vehicles in a group: master's final qualification work. St. Petersburg Polytechnic University of Peter the Great. St. Petersburg, 2018. 67 p.

Статья поступила 19 августа 2019 г.

Информация об авторах

Рыжкова Дарья Николаевна – Инженер ПАО «Интелтех». г. Санкт-Петербург, Тлф.: 8(812)3131034, E-mail: d.n.ryzhkova@inbox.ru. Адрес: 197342, Россия, г.Санкт-Петербург, Кантемировская ул., 8.

Provision of information exchange in the group of deep-loaded marine robotics complexes

D.N. Ryzhkova

Annotation. Problem statement: the structure of the transmitted messages for the marine-based robotic complex (MBRC), reception and simulation of the operation of the exchange (control) protocol in the group of complexes is considered. **The aim of the work** is to increase the efficiency of data exchange with deeply loaded MBRC. **Methods used:** theoretical groundwork in the field of ensuring the exchange of information in the underwater position together with simulation of the control protocol. **The novelty** is the consideration of information exchange through the sonar channel in the MBRC group, which is independently controlled. **The result** consists in the proposed structure of the receiving modem, which provides multi-channel reception of hydroacoustic signals, as well as the model of the protocol for managing the MBRC group. **Practical relevance:** the proposed block diagram of the construction of a hydroacoustic modem fundamentally allows to increase the noise immunity of reception, as well as to unify the communication facilities of the MBRC. The developed model of the JSON protocol in the OMNET ++ environment can be used as the basis for further studies of the organization of managing the MBRC group.

Keywords: marine-based robotic complex, sonar channel, parametric equipment, control algorithms for the MBRC group.

Information about Authors

Ryzhkova Daria Nikolaevna - Engineer of PJSC «Inteltech». Saint-Petersburg, tel. 8 (812) 313-10-34, e-mail: d.n.ryzhkova@inbox.ru. Address: Russia, 197342, Saint-Petersburg, Kantemirovskay st, 8.

Для цитирования: Рыжкова Д.Н. Обеспечение информационного обмена в группе глубоководных робототехнических комплексов морского базирования // Техника средств связи. 2019. № 4 (148). С. 83-89.

For citation: Ryzhkova D.N. Provision of information exchange in the group of deep-loaded marine robotics complexes // Means of communication equipment. 2019. №4 (148). P. 83-89. (In Russian).

ОБЪЕКТЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ И ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОБЛАСТИ РАЗРАБОТКИ СРЕДСТВ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ

УДК 347.77; 347.78

Особенности специального регулирования прав сторон на результаты научно-технической деятельности при выполнении научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ за счет Российской Федерации

Бикметова С.А.

***Аннотация:** В работе проведен анализ подзаконных нормативных актов, выражающих политику государства по вопросам регулирования отношений, связанных с реализацией созданных за счет федерального бюджета научно-технических решений. Показано, что полное и точное указание в государственных контрактах прав и обязанностей государственного заказчика и исполнителя работ в отношении созданных результатов научно-технической деятельности должно способствовать дальнейшему совершенствованию контрактной системы исполнения государственных заказов, повышению ответственности государственных заказчиков за правовую охрану и использование научно-технических результатов, создаваемых за счет федерального бюджета, защите интересов государства при вовлечении результатов научно-технической деятельности в хозяйственный оборот и повышению эффективности легального использования созданных результатов научно-технической деятельности.*

***Ключевые слова:** интеллектуальная собственность, опытно-конструкторская работа, научно-исследовательская работа, государственный заказчик, научно-техническая деятельность.*

Необходимость специального регулирования правовых отношений в сфере распределения прав сторон на результаты научно-технической деятельности при выполнении научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ за счет Российской Федерации, определяется потребностью конкретизации общих положений закона в специальных нормативно-правовых актах, поскольку в правоотношении одной из сторон выступает специальный субъект, обладающий особым правовым статусом, а именно – Российская Федерация в лице своих представителей.

По общему правилу (ст. ст. 1298, 1373, 1432, 1464, 1471 Гражданского кодекса Российской Федерации ¹ [1]), права на созданные за счет Российской Федерации результаты интеллектуальной деятельности принадлежат организации, выполняющей государственный контракт (исполнителю), если государственным контрактом не предусмотрено, что это право принадлежит Российской Федерации, от имени которой выступает государственный заказчик, либо совместно исполнителю и Российской Федерации.

Специальные нормы, регулирующие правовые отношения между государственными заказчиками и исполнителями по поводу распределения прав сторон на результаты научно-технической деятельности, полученные при выполнении научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ за счет Российской Федерации, нашли свое отражение в ряде подзаконных нормативных актов.

Основу формирования системы специальных норм в рассматриваемой сфере заложили указы Президента Российской Федерации от 14 марта 1998 г. № 556 «О правовой защите результатов научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ военного, специального и двойного назначения» ² [2] (утратил силу в связи с изданием указа Президента РФ от 24.05.2011 № 673) и от 22 июля 1998 г. № 863 «О государственной политике по вовлечению в хозяйственный оборот результатов научно-технической деятельности и объектов интеллектуальной собственности в сфере науки и

¹ Российская газета, 22.12.2006, № 289.

² Российская газета, 19.05.1998, № 94.

технологий»³ [3]. Данными указами Правительству Российской Федерации было поручено обеспечить проведение организационных мероприятий, направленных на осуществление правовой защиты интересов государства в процессе экономического и гражданско-правового оборота результатов интеллектуальной деятельности, полученных при выполнении государственных контрактов (договоров); определить порядок использования результатов научно-технической деятельности, полученных при проведении по государственным контрактам научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ для государственных нужд.

Также при осуществлении государственной политики по вовлечению в хозяйственный оборот результатов научно-технической деятельности и объектов интеллектуальной собственности в сфере науки и технологий были определены приоритетными направлениями, в первую очередь, направления, обеспечивающие сбалансированность прав и законных интересов субъектов правоотношений, включая государство, в области создания, правовой охраны и использования результатов научно-технической деятельности и объектов интеллектуальной собственности в сфере науки и технологий.

Нормативным актом, выражающим политику государства по вопросам регулирования отношений, связанных с реализацией созданных за счет федерального бюджета научно-технических решений, является распоряжение Правительства РФ от 30.11.2001 № 1607-р «Об основных направлениях реализации государственной политики по вовлечению в хозяйственный оборот результатов научно-технической деятельности»⁴.

Распоряжение определило направления государственного регулирования правовых отношений в области обращения прав на результаты научно-технической деятельности, полученные при исполнении государственных контрактов и договоров на выполнение научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ для федеральных государственных нужд. В частности, в распоряжении отмечено, что приоритетными для государства являются разработки, содержащие охраноспособные объекты интеллектуальной собственности, и иные результаты научно-технической деятельности, обеспечивающие наибольшую социально-экономическую эффективность, а также решение задач укрепления обороноспособности страны. В условиях ограниченности бюджетных средств государство может взять на себя расходы, связанные в основном с первым этапом – созданием результатов научно-технической деятельности в приоритетных областях науки и техники. Распоряжением определено, что в обязательном порядке обеспечивается закрепление за государством прав на те объекты интеллектуальной собственности и другие результаты научно-технической деятельности, созданные за счет средств федерального бюджета, которые, во-первых, непосредственно связаны с обеспечением обороны и безопасности страны, во-вторых, доведение которых до стадии промышленного применения берет на себя государство. В распоряжении содержится также утверждение о необходимости введения в хозяйственный оборот прав государства на результаты научно-технической деятельности путем их передачи либо организации-разработчику, либо инвестору, либо иному хозяйствующему субъекту.

При этом отмечено, что при передаче хозяйствующим субъектам прав на результаты научно-технической деятельности, созданные за счет средств федерального бюджета, государство не рассматривает в качестве основной цели возмещение затрат на финансирование этой деятельности. Вопросы урегулирования прав государства на результаты научно-технической деятельности должны определяться в государственных

³ Российская газета, 28.07.1998, № 141.

⁴ Собрание законодательства РФ, 10.12.2001, № 50, ст. 4803.

контрактах на выполнение работ для государственных нужд, других предусмотренных законодательством договорах (соглашениях). При этом, в контрактах и договорах, одной из сторон, в которых выступает государство, и которые предусматривают последующую передачу прав на результаты научно-технической деятельности, необходимо предусматривать получение государством неисключительной, безотзывной и безвозмездной лицензии на использование результатов научно-технической деятельности для государственных нужд.

В этих контрактах и договорах следует предусматривать конкретные обязательства организаций, которым передаются права государства по обеспечению доведения разработок до стадии промышленного применения и реализации готовой продукции, порядок материального поощрения организаций-исполнителей, порядок выплаты вознаграждения авторам, а также конкретные обязательства стороны, реализующей в производственной практике результат научно-технической деятельности, и санкции за невыполнение этих обязательств.

Постановлением Правительства РФ от 02.09.1999 № 982 «Об использовании результатов научно-технической деятельности»⁵ [5] определены основные положения, регулирующие деятельность государственных заказчиков при урегулировании вопросов, касающихся использования результатов работ.

Во-первых, постановлением возложено на государственных заказчиков по государственным контрактам и договорам на выполнение научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ для федеральных государственных нужд при закреплении за Российской Федерацией прав на результаты научно-технической деятельности, полученных при реализации указанных государственных контрактов и договоров, распоряжение этими правами от имени Российской Федерации. Во-вторых, установлено, что использование объектов интеллектуальной собственности в сфере науки и технологий для обеспечения федеральных государственных нужд осуществляется, как правило, на основе безвозмездной неисключительной лицензии, предоставляемой государственным заказчиком.

В соответствии с постановлением Правительства Российской Федерации от 22 апреля 2009 года № 342⁶ [6] (в ред. постановления Правительства РФ от 08.12.2011 № 1024) «О некоторых вопросах регулирования прав на результаты научно-технической деятельности» федеральные органы исполнительной власти и организации, выступающие от имени Российской Федерации государственными заказчиками научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ по государственным контрактам для государственных нужд (далее – государственные контракты), при заключении государственных контрактов обязаны предусматривать в них условия о закреплении в установленном порядке исключительных прав на изобретения, полезные модели, промышленные образцы, селекционные достижения, топологии интегральных микросхем, программы для электронно-вычислительных машин, базы данных и секреты производства (ноу-хау) (далее – результаты научно-технической деятельности):

- за Российской Федерацией, если:

- 1) результаты научно-технической деятельности изъяты из оборота;
- 2) Российская Федерация приняла на себя осуществление финансирования работ по доведению результатов научно-технической деятельности до стадии практического применения, завершающейся этапом постановки продукции на производство, включающим

⁵ Российская газета, 17.09.1999, № 183.

⁶ Собрание законодательства РФ, 04.05.2009, № 18 (2 ч.), ст. 2242.

подготовку производства, изготовление установочной серии и квалификационные испытания;

3) исполнитель не обеспечил до истечения 6 месяцев после окончания научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ совершение всех действий, необходимых для признания за ним или приобретения им исключительных прав на результаты научно-технической деятельности;

4) результаты научно-технической деятельности созданы в ходе научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ, выполняемых во исполнение международных обязательств Российской Федерации;

- за Российской Федерацией или, по решению государственного заказчика, совместно за Российской Федерацией и организацией, выполняющей научно-исследовательские, опытно-конструкторские и технологические работы (исполнителем), если данные результаты непосредственно связаны с обеспечением обороны и безопасности государства;

- за исполнителем на условиях, определяемых государственным контрактом, в иных случаях.

Имеющим особое значение в рассматриваемой сфере является постановление Правительства РФ от 22.03.2012 № 233 (в ред. постановления Правительства РФ от 30.03.2019 № 384) «Об утверждении Правил осуществления государственными заказчиками управления правами Российской Федерации на результаты интеллектуальной деятельности гражданского, военного, специального и двойного назначения» ⁷ [7]. Управление правами Российской Федерации на результаты интеллектуальной деятельности осуществляют государственные заказчики, по заказу которых созданы указанные результаты. Управление правами Российской Федерации на результаты интеллектуальной деятельности включает в себя:

а) осуществление мероприятий по оформлению прав Российской Федерации на результаты интеллектуальной деятельности, используемые и (или) созданные при выполнении государственных контрактов;

б) государственный учет результатов научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ гражданского, военного, специального и двойного назначения;

в) организацию работ по оценке стоимости и принятие на бухгалтерский учет прав на результаты интеллектуальной деятельности;

г) распоряжение правами Российской Федерации на результаты интеллектуальной деятельности;

д) организацию использования результатов интеллектуальной деятельности.

Значительный вклад в регулирование вопросов использования результатов научно-технической деятельности, полученных за счет средств Российской Федерации, внесен постановлением Правительства РФ от 26.01.2012 № 9 ⁸ [8] (в ред. постановления Правительства РФ от 18.11.2017 № 1397) «Об осуществлении контроля и надзора в сфере правовой охраны и использования результатов интеллектуальной деятельности гражданского назначения, созданных за счет бюджетных ассигнований федерального бюджета, а также контроля и надзора в установленной сфере деятельности в отношении государственных заказчиков и организаций-исполнителей государственных контрактов, предусматривающих проведение научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ».

Постановлением утверждено «Положение об осуществлении контроля и надзора в сфере правовой охраны и использования результатов интеллектуальной деятельности гражданского

⁷ Собрание законодательства РФ, 02.04.2012, № 14, ст. 1637.

⁸ Российская газета, 01.02.2012, № 20.

назначения, созданных за счет бюджетных ассигнований федерального бюджета, а также контроля и надзора в установленной сфере деятельности в отношении государственных заказчиков и организаций-исполнителей государственных контрактов, предусматривающих проведение научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ». В соответствии с постановлением, под федеральным государственным надзором понимается деятельность Федеральной службы по интеллектуальной собственности, направленная на предупреждение, выявление и пресечение нарушений государственными органами, органами управления государственных внебюджетных фондов, федеральными казенными учреждениями, иными получателями средств федерального бюджета, размещающими заказы на выполнение научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ гражданского назначения на основании государственных контрактов, и организациями-исполнителями государственных контрактов и договоров, финансирование которых осуществляется за счет бюджетных ассигнований федерального бюджета, требований, установленных законодательством Российской Федерации в сфере интеллектуальной собственности.

В развитие нормативной базы о введении в хозяйственный оборот результатов научно-технической деятельности, полученных за счет средств Российской Федерации, постановлением Правительства от 26.12.2013 № 1275 (в ред. постановления Правительства РФ от 02.12.2017 № 1465) «О примерных условиях государственных контрактов (контрактов) по государственному оборонному заказу» утверждено «Положение о примерных условиях государственных контрактов (контрактов) по государственному оборонному заказу»⁹ [9]. Пунктом 22 Положения определено, что в государственный контракт на выполнение научно-исследовательских или опытно-конструкторских работ включаются условия о закреплении права собственности на результаты научно-исследовательских или опытно-конструкторских работ, в том числе в отношении результатов интеллектуальной деятельности, полученных в ходе выполнения государственного контракта, распределение и порядок закрепления прав на создаваемые охраноспособные результаты интеллектуальной деятельности. Также в соответствии с пунктом 22 в контракты могут включаться, помимо прочих, следующие условия:

1) обязанность головного исполнителя по обеспечению правовой охраны создаваемых результатов интеллектуальной деятельности в соответствии с решением государственного заказчика путем:

- осуществления юридически значимых действий по оформлению прав на созданные результаты интеллектуальной деятельности на территории Российской Федерации и на территориях иностранных государств;

- принятия мер по сохранению конфиденциальности сведений, составляющих секрет производства (ноу-хау);

2) обязанность государственного заказчика предоставлять главному исполнителю безвозмездную простую (неисключительную) лицензию на использование результатов интеллектуальной деятельности, исключительное право на которые принадлежит Российской Федерации, для выполнения работ по государственному контракту (контракту).

Постановлением Правительства Российской Федерации от 2 июля 2014 года № 606 (в ред. постановления Правительства от 30.05.2017 № 663) «О порядке разработки типовых контрактов, типовых условий контрактов, а также о случаях и условиях их применения»¹⁰ [10] утверждены Правила разработки типовых контрактов, типовых условий контрактов, в соответствии с которыми в государственном контракте должны быть предусмотрены условия о правах сторон на результаты интеллектуальной деятельности, созданные при выполнении работ.

Следует также упомянуть утвержденные Роспатентом 02.03.2006 «Методические рекомендации по отражению в государственных контрактах вопросов правовой охраны и

⁹ Собрание законодательства РФ, 13.01.2014, № 2 (часть I), ст. 102.

¹⁰ Собрание законодательства РФ, 14.07.2014, № 28, ст. 4053.

использования результатов научно-технической деятельности»¹¹ [11], в которых изложены рекомендации по вопросу отражения в государственных контрактах положений, устанавливающих права и обязанности сторон по закреплению прав, правовой охране и использованию созданных результатов научно-технической деятельности.

В Методических рекомендациях указано, что в обязательном порядке сторонами должны быть урегулированы следующие положения:

1. Закрепление прав на результаты научно-технической деятельности, полученные при выполнении работ по контракту.
2. Обязательства исполнителя по обеспечению государственных интересов.
3. Обязательства по обеспечению правовой охраны полученных результатов путем оформления патентов либо с использованием режима коммерческой тайны.
4. Обязательства исполнителя по проведению патентных исследований в полном объеме в соответствии с ГОСТ Р 15.011-96.
5. Обязательства государственного заказчика и исполнителя в отношении использования предшествующей интеллектуальной собственности или прав и информации, принадлежащей третьим лицам.
6. Обязательства обладателя прав на созданные объекты интеллектуальной собственности по выплате вознаграждения их авторам.
7. Порядок использования результатов работ, полученных в рамках государственного контракта.

Следует отметить, что система правового регулирования прав на результаты научно-технической деятельности, полученные при выполнении научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ за счет Российской Федерации, развиваясь, совершенствуясь, по-прежнему находится в стадии формирования, ее нельзя считать завершенной. Решение вопросов распределения прав между государством, финансирующим интеллектуальную деятельность, и исполнителем работ должно осуществляться в рамках государственного контракта (договора). Полное и точное указание в государственных контрактах прав и обязанностей государственного заказчика и исполнителя работ в отношении созданных результатов научно-технической деятельности должно способствовать дальнейшему совершенствованию контрактной системы исполнения государственных заказов, повышению ответственности государственных заказчиков за правовую охрану и использование научно-технических результатов, создаваемых за счет федерального бюджета, защите интересов государства при вовлечении результатов научно-технической деятельности в хозяйственный оборот и повышению эффективности легального использования созданных результатов научно-технической деятельности.

Таким образом, при выполнении научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ необходимо обратить внимание на следующие особенности правового регулирования:

1. В контрактах на выполнение научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ условия, отражающие вопросы правовой охраны и использования результатов научно-технической деятельности, формулируются исходя из обеспечения сбалансированности прав и законных интересов субъектов правоотношений, включая государство, с учетом требований и ограничений, установленных действующим законодательством.
2. В контрактах, одной из сторон в которых выступает государство, и которые предусматривают последующую передачу прав на результаты научно-технической деятельности, следует предусматривать конкретные обязательства организаций, которым передаются права государства, по обеспечению доведения разработок до стадии промышленного

¹¹ Патенты и лицензии, № 5, 2006.

применения и реализации готовой продукции, а также конкретные обязательства стороны, реализующей в производстве результат научно-технической деятельности.

3. Применение специальных норм, регулирующих правовые отношения между государственными заказчиками и исполнителями по поводу распределения прав сторон на результаты научно-технической деятельности, полученные при выполнении научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ за счет Российской Федерации, является обязательным и необходимым условием грамотного формирования политики управления правами на результаты интеллектуальной деятельности и, как следствие, устойчивого развития организаций.

Литература

1. Гражданский кодекс РФ.
2. Указ Президента Российской Федерации от 14 марта 1998 г. № 556 «О правовой защите результатов научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ военного, специального и двойного назначения».
3. Указ Президента Российской Федерации от 22 июля 1998 г. № 863 «О государственной политике по вовлечению в хозяйственный оборот результатов научно-технической деятельности и объектов интеллектуальной собственности в сфере науки и технологий».
4. Распоряжение Правительства РФ от 30.11.2001 № 1607-р «Об основных направлениях реализации государственной политики по вовлечению в хозяйственный оборот результатов научно-технической деятельности».
5. Постановление Правительства РФ от 02.09.1999 № 982 «Об использовании результатов научно-технической деятельности».
6. Постановление Правительства Российской Федерации от 22 апреля 2009 года № 342 «О некоторых вопросах регулирования прав на результаты научно-технической деятельности».
7. Постановление Правительства РФ от 22.03.2012 № 233 (в ред. постановления Правительства РФ от 30.03.2019 № 384) «Об утверждении Правил осуществления государственными заказчиками управления правами Российской Федерации на результаты интеллектуальной деятельности гражданского, военного, специального и двойного назначения».
8. Постановление Правительства РФ от 26.01.2012 № 9 (в ред. постановления Правительства РФ от 18.11.2017 № 1397) «Об осуществлении контроля и надзора в сфере правовой охраны и использования результатов интеллектуальной деятельности гражданского назначения, созданных за счет бюджетных ассигнований федерального бюджета, а также контроля и надзора в установленной сфере деятельности в отношении государственных заказчиков и организаций-исполнителей государственных контрактов, предусматривающих проведение научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ».
9. Постановление Правительства от 26.12.2013 № 1275 (в ред. постановления Правительства РФ от 02.12.2017 № 1465) «О примерных условиях государственных контрактов (контрактов) по государственному оборонному заказу».
10. Постановление Правительства Российской Федерации от 2 июля 2014 года № 606 (в ред. постановления Правительства от 30.05.2017 № 663) «О порядке разработки типовых контрактов, типовых условий контрактов, а также о случаях и условиях их применения».
11. «Методические рекомендации по отражению в государственных контрактах вопросов правовой охраны и использования результатов научно-технической деятельности» от 02.03.2006.

References

1. The Civil Code of the Russian Federation.
2. Decree No. 556 of the President of the Russian Federation of 14 March 1998 "On legal protection of the results of research, development and technological works of military, special and dual use".
3. Decree No. 863 of the President of the Russian Federation of 22 July 1998 "On State Policy on the Involvement in Economic Turnover of the Results of Scientific and Technical Activities and Intellectual Property Objects in the Field of Science and Technology".
4. Order of the Government of the Russian Federation No.1607-p of 30.11.2001 "On the main directions of implementation of the state policy on involvement in economic turnover of the scientific and technical activities results".

5. Resolution of the Government of the Russian Federation dated 02.09.1999 № 982 "On the use of the scientific and technical activities results".

6. Resolution of the Government of the Russian Federation No. 342 of 22 April 2009 "On Certain Issues of Regulation of Rights to the Scientific and Technical Activities Results".

7. Resolution of the Government of the Russian Federation No. 233 of 22.03.2012 (ed. Resolution of the Government of the Russian Federation No. 384 of 30.03.2019) "On Approval of the Rules for the Implementation by State Customers of the Management of the Rights of the Russian Federation to the Results of Intellectual Activities of Civil, Military, Special and Dual-Use".

8. Resolution of the Government of the Russian Federation dated 26.01.2012 № 9 (ed. Resolution of the Government of the Russian Federation dated 18.11.2017 № 1397) "On control and supervision in the sphere of legal protection and use of results of intellectual activity of civil purpose, created at the expense of federal budget budgetary allocations, as well as control and supervision in the established sphere of activity in relation to state customers and organizations-executor of state contracts providing for carrying out research, development and technological works".

9. The government resolution of 26.12.2013 No. 1275 (in an edition of the resolution of the Government of the Russian Federation of 02.12.2017 No. 1465) "About approximate conditions of government contracts (contracts) on the state defense order".

10. The resolution of the Government of the Russian Federation of July 2, 2014 No. 606 (in an edition of the government resolution of 30.05.2017 No. 663) "About an order of development of standard contracts, standard conditions of contracts and also about cases and conditions of their application".

11. "Methodological Recommendations on the Incorporation of Legal Protection and Use of Results of Scientific and Technical Activities in State Contracts" dated 02.03.2006.

Статья поступила 19 августа 2019 г.

Информация об авторе

Бикметова Светлана Александровна – Заместитель генерального директора по правовым вопросам – главный юрист ПАО «Интелтех». Тел.: +7(812)295-50-69. E-mail: intelteh@inteltech.ru. Адрес: 197342, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Кантемировская, д. 8.

Features of special regulation of the parties rights to the scientific and technical activities results during research, development and technological works at the expense of the Russian Federation

S.A. Bikmetova

***Annotation:** The analysis of by-laws expressing the policy of the state on the relations related regulation to the implementation of scientific and technical solutions created at the expense of the federal budget has been carried out. It is shown that the complete and accurate indication in state contracts of the rights and obligations of the state customer and the works contractor with regard to the created scientific and technical activities results should contribute to further improvement of the contract system of execution of state orders, Increasing the responsibility of public customers for legal protection and the use of scientific and technical results, Created at the expense of the federal budget, protecting the interests of the State while involving the scientific and technical activities results in the economic turnover and increasing the efficiency of legal use of the created scientific and technical activities results.*

***Keywords:** intellectual property, development work, research work, state customer, scientific and technical activity.*

Information about Author

Bikmetova Svetlana Alexandrovna – Deputy General Director of Legal Affairs - Chief Lawyer of PJSC «Inteltech». Tel. +7(812)295-50-69. E-mail: intelteh@inteltech.ru.

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

Для цитирования: Бикметова С.А. Особенности специального регулирования прав сторон на результаты научно-технической деятельности при выполнении научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ за счет Российской Федерации // Техника средств связи. 2019. № 4 (148). С. 90-97.

For citation: Bikmetova S.A. Features of special regulation of the parties rights to the scientific and technical activities results during research, development and technological works at the expense of the Russian Federation // Means of communication equipment. 2019. № 4 (148). P. 90-97. (In Russian).

ДЛЯ АВТОРОВ

Для публикации статьи автор должен представить в редакцию: файл со статьей; файлы с рисунками (по отдельному запросу редакции); скан экспертного заключения об отсутствии в статье материалов, запрещенных к открытому опубликованию; файл, содержащий сведения об авторском коллективе с указанием автора для контакта.

Требования к оформлению статей, представляемых в редакцию

1. Статья представляется в формате **Word 97/2000/XP** с расширением **doc**.
2. Рекомендуемый объем статьи – **до 10 страниц**. Публикацию статей большего объема необходимо согласовать с редакцией в отдельном порядке, с пояснением причины, по которым увеличен рекомендуемый объем.
3. Размер страницы – А4. Все поля (верхнее, нижнее, правое и левое) по 2 см.
4. Текст статьи набирается шрифтом Times New Roman, размер 12 pt, междустрочный интервал – 1.0, абзацный отступ 1,25 см, без отступов между абзацами. В основном тексте допускается курсив. Латинские буквы для обозначений набираются курсивом, греческие, русские буквы и цифровые индексы – прямым шрифтом.
5. В начале статьи индекс УДК, выровнен по левому краю. После УДК – пропуск строки.
6. Название статьи выполняется полужирным шрифтом и выравнивается по центру страницы без абзацного отступа. Оно должно точно и однозначно характеризовать содержание статьи. Не рекомендуется использовать в названии сокращения, кроме общепринятых в предметной области. Название предоставляется в редакцию на русском и английском языках. Точка после заглавия не ставится. После названия статьи следует пропуск строки.
7. Инициалы и Фамилии авторов указываются через запятую в соответствии личному вкладу в написание статьи, выравниваются по центру страницы без абзацного отступа. После фамилий авторов следует пропуск строки.
8. Аннотация выполняется на русском и английском языке, размер шрифта 11 pt, курсив, абзацный отступ 1,25 см. Заголовки элементов аннотации выделяются жирным шрифтом. За аннотацией следует пропуск строки.
9. Ключевые слова оформляются так же, как и аннотация, и должны содержать основные понятия и термины, употребляемые в статье. Ключевые слова формулируются так, чтобы при семантическом поиске по ним можно было найти данную статью заинтересованным ученым. После абзаца с ключевыми словами – пропуск строки.
10. Для структуризации статьи рекомендуется основной текст разделить по частям с условными подзаголовками «Введение», «Постановка задачи», «Результаты моделирования», «Выводы», выполняемые полужирным шрифтом с выравниванием по центру без абзацного отступа. Перед подзаголовками пропуск строки.
11. Таблицы должны занимать всю ширину текстового поля. В случае малого размера таблиц, допускаются таблицы шириной меньшей, чем ширина текстового поля. Таблицы выравниваются по центру листа без абзацного отступа. Текст внутри таблиц выполняется шрифтом от 10pt до 12pt, в зависимости от степени информационной загрузки. Таблицы нумеруются по порядку упоминания, а их названия оформляются в виде «Таблица 1 – Название таблицы» и выравниваются по центру листа без абзацного отступа. Если таблица выполняется на нескольких страницах, необходимо выставлять признак заголовка для первой строки с наименованиями столбцов, либо дублировать первую строку с наименованиями на следующей странице.
12. Рисунки выполняются в виде внедренных объектов векторной графики, выполненных в формате MS Visio (**vsd**) или в форматах метафайлов Windows (**wmf** или **emf**). В случае невозможности представления рисунков в векторном виде, рисунки выполняются в растровых форматах **jpg** или **png**. Нумерация рисунков последовательная по мере упоминания в статье в виде «Рис. 1. Название рисунка». Номер и название рисунка выравниваются по центру страницы без абзацного отступа. До рисунка и после его названия вставляется пропуск строки. Допускается выполнение рисунков, расположенных параллельно друг другу на одном горизонтальном уровне, при этом рисунки и их названия помещаются в таблицу с прозрачными границами.
13. Формулы выполняются в редакторе формул MathType либо Microsoft Equation 3.0. Формулы могут быть набраны в основном тексте со вставкой специальных математических символов через меню «вставка-символ». **Запрещается набирать формулы во встроенном редакторе формул Microsoft Office 2007 и выше.** Основной шрифт формул, набираемых в MathType и Microsoft Equation 3.0, 12 pt. Формулы выравниваются по центру без абзацного отступа. При необходимости переноса формул используют общепринятую математическую запись переноса. Формулы, на которые есть ссылки в тексте статьи, должны быть пронумерованы. Номер формулы проставляют с правого края страницы. Не следует вставлять пропуски строки до и после формул.
14. Список используемых источников оформляется следующим образом – «Литература», который выполняется полужирным шрифтом, по центру страницы без абзацного отступа. Нумерация ссылок определяется порядком их упоминания в статье. *Список литературы*: от 15 до 40 наименований, из них самоцитирований должно быть не более 20%. В числе источников *желательно* не менее 50% иностранных (для статей на английском языке – 15% российских). Состав источников должен быть актуальным и, *по возможности*, содержать не менее 8 статей из научных журналов не старше 10 лет, из них 4 – не старше 3 лет. Ссылки должны быть только на статьи, патенты, книги и статьи из сборников трудов. В списках литературы не размещать ГОСТы, рекомендации, диссертации, авторефераты и другую нормативную и непериодическую документацию. Эти данные можно указывать в теле статьи в скобках или как постраничные сноски. Список литературы оформляется по ГОСТ 7.052008.
15. После подзаголовка «Reference» литература дублируется на английском языке. После списка литературы и Reference следует пропуск строки. Основные правила при переводе литературы на английский язык, с использованием транслитерации: название русского издательства транслитерируется, если имеется

зарегистрированное англоязычное название, то приводится оно. Город и издательство в английском варианте не сокращается. Транслитерация переводных книг не делается. В англоязычной версии статьи следует делать ссылку на оригинальное издание. При переводе книг на английский язык: указывается ФИО авторов на английском языке. Транслитерация названия [перевод названия на английском языке]. Название города на английском языке: Транслитерация названия издательства (либо зарегистрированное англоязычное название издательства). При переводе на английский язык статей из журналов: город и издательство не указываются. Если русскоязычный журнал имеет зарегистрированное англоязычное название или переводную англоязычную версию, то в выходных данных необходимо указывать англоязычную версию названия журнала и статьи (без ее транслитерации). При переводе на английский язык материалов конференций указывается название конференции на языке оригинала (в транслитерации, если нет ее английского названия), выделенное курсивом. В скобках дается перевод на английский язык. Выходные данные (место проведения, место издания, страницы) представляются на английском языке. Примеры переводов литературы, с использованием транслитерации, приведены в шаблоне статьи, на сайте журнала!

16. После списка Reference указывается дата первого представления статьи в редакцию. Данный абзац выделяется полужирным шрифтом, выравнивание по правому краю страницы.

17. В конце статьи указывается информация о каждом соавторе: фамилия, имя, отчество полностью, ученая степень, ученое звание, должность и полное наименование организации, телефон и e-mail.

18. Статья завершается текстовым блоком, дублирующим название статьи, фамилии и инициалы авторов, аннотацию статьи и ключевые слова на английском языке. Данный текстовый блок начинается с новой страницы и его элементы оформляются так же, как соответствующие элементы на русском языке в начале статьи.

Требования к оформлению файла, содержащего сведения об авторах (по каждому автору)

1. Фамилия, Имя, Отчество на русском и английском языках.
2. Ученая степень и ученое звание (если есть) на русском и английском языках.
3. Место работы (официальное название) с указанием страны и города на русском и английском языках.
4. Должность на русском и на английском языке.
5. Область научных интересов – на русском и английском языках (Field of research: ...).
6. Адрес электронной почты (существующий и действующий) для каждого соавтора.
7. Корреспондентский почтовый адрес (с индексом), рабочий или домашний. Контактный телефон.

Рекомендации по написанию аннотации

Аннотация должна быть: информативной (не иметь общих слов); содержательной (отражать основное содержание статьи); структурированной (следовать логике изложения материала); компактной (объемом 200-300 слов).

Рекомендуется в тексте аннотации выделять Введение (Цели исследования, Постановка проблемы и т. п.), Результаты, Заключение (Новизна, Выводы, Практическая значимость). Большую часть аннотации должен составлять подраздел Результаты, в котором не следует использовать общие слова: «Проведены исследования...», «Разработан модифицированный алгоритм...», «Разработана методика...», и т. д., нужно описать суть исследования, методики, алгоритма. Нельзя включать в аннотацию иллюстрации, формулы, специальные знаки, аббревиатуры и пр.

В аннотации следует избегать сложных грамматических конструкций и лишних фраз (например, «автор рассматривает...», «автор полагает...» и т. д.). Следует применять конструкции констатирующего и обезличенного характера (доказано, проанализировано, изложено...) и оценочные стандартные словосочетания (уделено основное внимание, актуальный вопрос, важная проблема...). Аннотация не должна включать в себя цитаты из текста статьи.

Перечень научных специальностей, паспорта которых соответствуют тематическому содержанию журнала

05.00.00 – Технические науки	05.12.00 «Радиотехника и связь»
	05.12.04 «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения»
	05.12.07 «Антенны, СВЧ устройства и их технологии»
	05.12.13 «Системы, сети и устройства телекоммуникаций»
	05.13.00 «Информатика, вычислительная техника и управление»
	05.13.01 «Системный анализ, управление и обработка информации»
	05.13.05 «Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления»
	05.13.11 «Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей»
	05.13.15 «Вычислительные машины, комплексы и компьютерные сети»
	05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ»
20.00.00 – Военные науки	05.13.19 «Методы и системы защиты информации, информационная безопасность»
	20.01.09 «Военные системы управления, связи и навигации»
	20.01.10 «Военная разведка»
	20.01.12 «Радиоэлектронная борьба (способы и средства)»
	20.02.12 «Системный анализ, моделирование боевых действий и систем военного назначения, компьютерные технологии в военном деле»
	20.02.14 «Вооружение и военная техника. Комплексы и системы военного назначения»
	20.02.17 «Эксплуатация и восстановление вооружения, техническое обеспечение»
20.02.25 «Военная электроника, аппаратура комплексов военного назначения»	