



**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
(Председатель редколлегии):**

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

ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОГО СОВЕТА:

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

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

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). Д.т.н., доцент

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

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

Дорогов А.Ю. Д.т.н., доцент

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

Легков К.Е. Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского (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 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
(Editorial Board Chairman):**

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

EDITORIAL COUNCIL MEMBERS:

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

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

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

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

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

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

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

EDITORIAL BOARD MEMBERS:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Pashintsev V.P. North Caucasus Federal University. Institute of Information Technology and Telecommunications (Stavropol). Doctor of Technical Sciences, Professor

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

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

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

Tsymbal V.A. Branch of the Great Petr RVSNI Military Academy (Serpuukhov). 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: Секретарь редакции: **Михайлова Н.В.**
Верстка принт-макета: **Мамончикова А.С.**
Дизайн обложки: **Шаутин Д.В.**
Поддержка сетевой версии журнала: **Лебедев Д.А.**

АДРЕС РЕДАКЦИИ: 197342. Россия. Санкт-Петербург, ул. Кантемировская, д. 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

СИСТЕМЫ СВЯЗИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ

Мирошников В.И., Будко П.А., Жуков Г.А.

Составной тракт доведения информации до робототехнических комплексов в северных морях.....2

Одоевский С.М., Салюк Д.В., Бусыгин А.В.

Оценка необходимой полосы пропускания для обеспечения требуемого качества обслуживания видеотрафика в устройствах пакетной коммутации27

Молокович И.А.

Маршрутизация в стационарной радиосети декаметрового радиосвязи.....33

ПЕРЕДАЧА, ПРИЕМ И ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ

Гук И.И.

Пространственная избирательность антенных решёток при цифровом приёме. Часть 1.....41

МОДЕЛИРОВАНИЕ СЛОЖНЫХ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Моисеев А.А., Чуев А.В., Киселев А.А., Миронов А.А.

Имитационная модель сети военной связи.....53

Шаптала В.С.

Модель цифровой сети радиосвязи в распределенной вычислительной среде.....70

ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Гузарев А.С.

Принцип создания правил реагирования для OSSEC77

Белоус Д.В., Сиразетдинов Р.Р.

Варианты использования электронной подписи в системе «1С:Документооборот»85

ОБЪЕКТЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ И ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОБЛАСТИ РАЗРАБОТКИ СРЕДСТВ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ

Филиппов В.П.

Вопросы формирования технических требований при проведении закупок радиоэлектронного оборудования91

CONTENTS

COMMUNICATION AND TELECOMMUNICATION SYSTEMS

Miroshnikov V.I., Budko P.A., Zhukov G.A.

The composite path of bringing information to robotic systems in the northern seas.....2

Odoevsky S.M., Salyuk D.V., Busygin A.V.

Assessment of necessary bandwidth for ensuring required quality of service of video traffic in devices of package switching27

Molokovich I.A.

Routing in the stationary radio network decameter radio33

SIGNAL TRANSMISSION, RECEPTION AND PROCESSING

Guk I.I.

The spatial selectivity of the antenna arrays with digital reception. Part 141

MODELING OF COMPLEX ORGANIZATIONAL AND TECHNICAL SYSTEMS

Moiseev A.A., Chuev A.V., Kiselev A.A., Mironov A.A.

Imitation model of military communication network.....53

Shaptala V.S.

Model of digital radio network in distributed computing system70

INFORMATION SECURITY

Guzarev A.S.

The principle of creating response rules for OSSEC.....77

Belous D.V., Sirazetdinov R.R.

Options for the use of electronic signatures in 1C: Document Management85

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

Filipov V.P.

Issues of formation of technical requirements for the procurement of electronic equipment91

Рубрики журнала: • Анализ новых технологий и перспектив развития техники средств связи • Системы управления •

• Интеллектуальные информационные системы • Робототехнические системы • Вычислительные системы •

• Информационные процессы и технологии. Сбор, хранение и обработка информации •

• Вопросы обеспечения информационной безопасности • Передача, прием и обработка сигналов •

• Системы связи и телекоммуникации • Электронные и радиотехнические системы •

• Моделирование сложных организационно-технических систем • Перспективные исследования •

• Объекты интеллектуальной собственности и инновационные технологии в области разработки средств телекоммуникаций •

СИСТЕМЫ СВЯЗИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ

УДК 621.396.946; 621.396.949

**Составной тракт доведения информации
до робототехнических комплексов в северных морях**

Мирошников В.И., Будко П.А., Жуков Г.А.

Аннотация. Постановка задачи: рассматриваются основные направления по созданию составного тракта управления и связи с робототехническими комплексами в северных морях с использованием декаметровых, метеорных и гидроакустических каналов. **Целью работы** является повышение устойчивости доведения сигналов управления до удаленных морских объектов, находящихся в подводном или подледном положениях. **Используемые методы:** теоретический и практический заделы в области декаметровой, метеорной и гидроакустической связи, а также SDR-технологий для реализации программно-аппаратных комплексов нового поколения; использование эффекта отражения радиоволн от метеорных следов; применение бионического подхода для реализации дальней гидроакустической связи. **Новизна** состоит в предложении построения приемной антенно-фидерной подсистемы канала метеорной связи, обеспечивающей формирование «веера» узких диаграмм направленности; формировании и применении новой сигнально-кодированной конструкции для гидроакустического модема; применении аппаратно-программного комплекса на базе SDR-технологий. **Практическая значимость** заключается в том, что составной тракт доведения информации позволяет: повысить устойчивость канала управления подводным объектом в северных морях; увеличить дальность доведения управляющей информации, что важно для выполнения работ в подледном положении без всплытия робототехнического комплекса; осуществлять прием информации в условиях сложной помеховой обстановки гидрологии моря и северных широт; обеспечить дополнительное повышение максимальной мощности принимаемого сигнала на $10 \div 12$ дБ с учетом реализации переменной скорости передачи за счет бионического подхода, визуализации принимаемого сигнала и использования мультидиаграммной фазированной антенной решетки.

Ключевые слова: составной тракт; декаметровый канал связи, гидроакустический канал связи; метеорный канал связи; метеорный след; диаграмма направленности.

Введение

Одной из приоритетных задач, решаемых в рамках развития РФ, является освоение северных морских территорий страны. С учетом этого разработкой методов устойчивой связи и управления объектами, находящимися в северных морях, в том числе, подводными лодками и морскими робототехническими комплексами (МРТК) представляется важным и актуальным направлением. Традиционно используемые для связи с морскими объектами радиоканалы декаметрового диапазона волн имеют низкий коэффициент готовности на северных морских радиотрассах в период возникновения ионосферно-магнитных бурь, а также при появлении спорадического слоя E_s . Исходя из этого, тракт доведения информации от пунктов управления до морских объектов необходимо резервировать каналом, устойчивым к указанным негативным факторам. По ряду причин, использование спутниковой связи, в качестве основного канала доведения информации в составном тракте, существенно ограничено. Как следует из ряда теоретических и экспериментальных работ [1-3], одним из возможных каналов составного тракта является радиоканал метеорной связи (РМС). В настоящей работе рассматривается структура построения составного тракта с использованием РМС.

1 Структура составного тракта

Структура построения одного из вариантов составного тракта передачи сигналов управления на объект, находящийся в подводном положении, представлена на рис. 1.

Информация, предназначенная для доведения до робототехнического комплекса от центрального пункта по континентальной сети в соответствии с протоколом адресации, поступает на заданные береговые центры связи (например, ЦС-1 и ЦС-3, см. рис. 1), с которых осуществляется параллельная передача команд управления по каналам декаметровый и метеорной связи (ЦС-1) или через оптоволоконный кабель связи (ЦС-3) на придонный гидроакустический буй-ретранслятор (ГАБ). На удаленном пункте ретрансляции (надводном пункте управления – НПУ или промежуточном радиоретрансляторе) реализуется совместный прием, обработка и синтез суммарного сообщения.

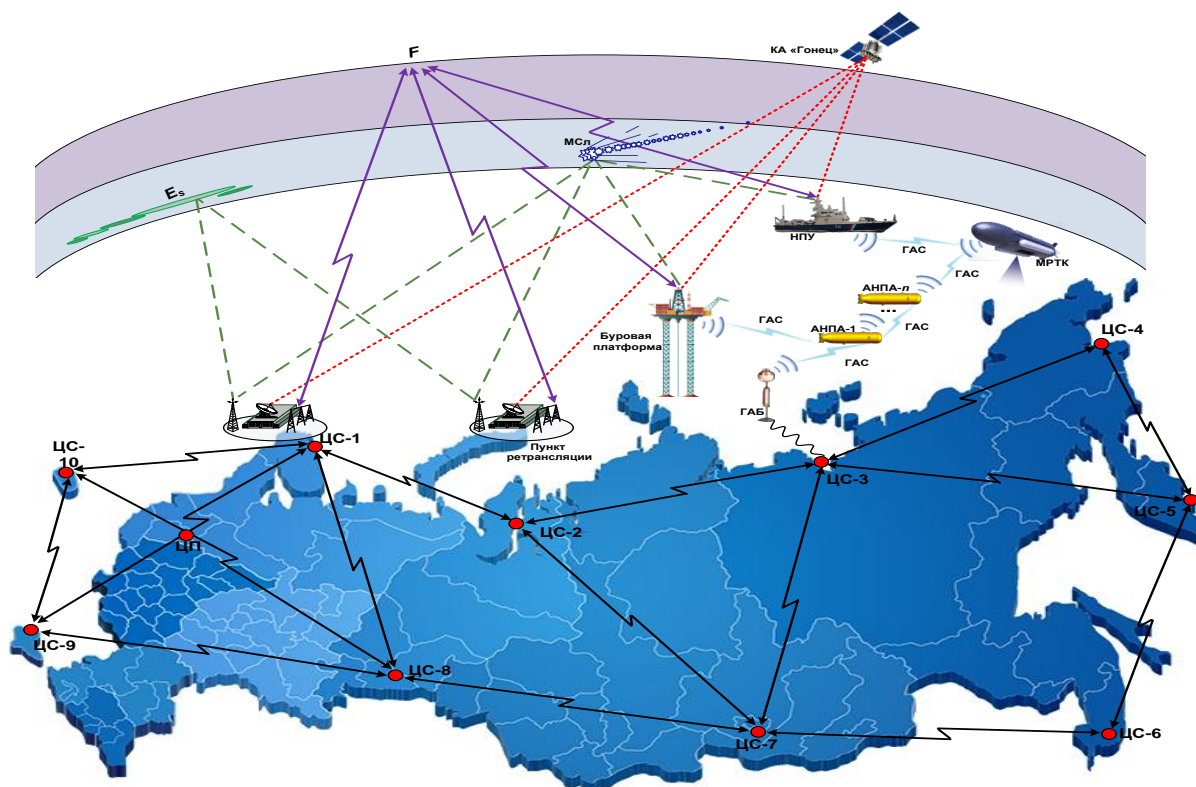


Рис. 1. Структура построения составного тракта доведения информации до МРТК (вариант)

При создании декаметровых (ДКМ) радиолиний (РЛ), входящих в составной тракт, могут использоваться различные сигнально-кодовые конструкции (СКК), как правило, ориентированные на решение определенных задач, таких как снижение времени доведения и вероятности трансформации знаков сообщения, обеспечения скрытности излучения, реализации мультимедийных услуг и т. п. Однако, для оценки возможности решения указанных задач для любой ДКМ РЛ при организации связи с удаленным абонентом необходимо учитывать основные характеристики радиотрассы, зависящие от сезона, времени суток и взаимного географического расположения пунктов приема и передачи информации, что особенно характерно для северных широт.

Как показывают расчеты и результаты трассовых испытаний, для устойчивого обмена данными между НПУ, находящимися на значительных удалениях от ЦС, целесообразно, без увеличения мощности радиопередающего устройства (РПДУ) свыше 5 кВт, обеспечить суммарный коэффициент усиления приемной и передающих антенн не менее $18 \div 20$ дБ, а в радиомодеме реализовать возможность работы не только на высоких, но и на пониженных скоростях $V = 1 \div 5$ бит/с во всем ДКМ диапазоне частот [4].

При работе РЛ в адаптивном режиме необходимая скорость обмена данными будет установлена автоматически, а в случае передачи информации для объектов, находящихся в режиме радиомолчания, на последних следует установить многоканальный SDR-радиоприемник с демодуляторами, ориентированный на прием «сетки» скоростей [5].

Таким образом, для повышения характеристик доведения информации до глобально перемещающихся НПУ целесообразно дооснастить основные континентальные ЦС и пункты-ретрансляторы (расположенные на буровых платформах, надводных кораблях и островах) адаптивными и симплексными радиопередачами ППРЧ с широкой «сеткой» рабочих скоростей передачи, радиопередающими устройствами типа РПДУ-М1(5) [6] и дополнительными КВ поворотными логопериодическими антеннами типа «Сектор» [7].

Поскольку объекты, взаимодействующие с ЦС не всегда могут быть обеспечены мощными ДКМ РПДУ и передающими АФУ с большим коэффициентом усиления, специализированные приемные радиостанции должны быть оснащены эффективными антенно-фидерными подсистемами. В настоящее время, на приемных радиостанциях (ПРЦ), входящих в состав ЦС для «дальней» связи, как правило, используются антенны типа БС и РГ, основными недостатками которых являются высокая стоимость, сложность в эксплуатации, большая площадь антенного поля, а также низкая эксплуатационная надежность, что практически исключает возможность реализации 3 ÷ 5-ти канального пространственно-разнесенного приема в каждом азимутальном секторе, а это, в свою очередь, резко снижает вероятность устойчивого приема в условиях «замираний» сигнала, характерных для декаметрового диапазона [8]. Одним из вариантов устранения указанного недостатка является оснащение ПРЦ «кольцевыми» фазированными антенными решетками (КФАР) типа КАРС-В2Г [9], с формированием «веера» диаграмм направленности (ДН) или ЦФАР с «цифровым» синтезом диаграмм направленности с использованием многоканальных КВ SDR-модулей [6].

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

Таким образом, в условиях отсутствия аномальных явлений в ионосфере при использовании ДКМ радиопередачи может быть обеспечено устойчивое доведение сигналов управления до НПУ. В то же время, учитывая нестационарность возникновения ионосферных магнитных бурь целесообразно дублировать передачу указанных сигналов по метеорному каналу связи, устойчивого к магнито-ионным атмосферным возмущениям.

Исходя из вышеизложенного, рассмотрим пути повышения эффективности функционирования тракта метеорной связи.

2 Оптимизация структуры построения тракта метеорной связи

Одним из родов радиосвязи в ультракоротковолновом диапазоне волн (УКВ) является метеорная связь (МС), обусловленная появлением участков ионосферы (метеорных следов), «зеркально» отражающих радиоволны [1, 2, 10-13].

Метеорный след (МСл), как правило, представляет собой ионизированную область (узкий конус длиной до 25 км) с высокой начальной линейной электронной плотностью N . Свойства МСл, а также физические процессы, лежащие в основе их образования, достаточно хорошо исследованы [2, 14-17]. В соответствии с существующей классификацией МСл с $N < 10^{14}$ называется неуплотненным следом (МСлН), а с $N > 10^{14}$ – переуплотненным (МСлП). При падении УКВ радиоволны на МСлН происходит «возбуждение» свободных электронов метеорного следа, сопровождающееся когерентным, зеркальным вторичным излучением с частотой порождающей радиоволны. Если электронная плотность метеорного следа окажется выше критической для соответствующей частоты падающей радиоволны (что характерно для МСлП), то ее отражение от МСл будет происходить подобно зеркальному отражению от металлического цилиндра.

Амплитуда радиоволны, отраженной от МСлН в точке приема, изменяется во времени по экспоненциальному закону:

$$U = U_0 e^{-t/\tau}, \quad (1)$$

где U_0 – максимальное значение амплитуды, t – текущее время от момента появления МСл, τ – постоянная времени, характеризующая физические свойства ионизированного МСл [2, 18]. Используя формулу (1) по двум значениям U и U_2 , замеренным через определенные интервалы времени можно оценить величину τ для конкретного метеорного следа.

При использовании радиопередающего устройства с $P_{\text{изл}} \approx 0,5 \div 1$ кВт и антенн (передающей $A_{\text{прд}}$ и приемной $A_{\text{прм}}$) с суммарным коэффициентом усиления $G_{A_{\text{прд}}, A_{\text{прм}}} \approx 15$ дБ время существования неуплотненного метеорного следа, обеспечивающего возможность качественного приема отраженной волны, составляет в среднем $0,2 \div 0,5$ с. Для радиоволны, отраженной от МСлП, из-за различий физических процессов зеркального отражения, время существования отраженной волны может составлять от нескольких секунд до нескольких десятков секунд. При этом, вследствие «искривления» или разрыва перенасыщенного метеорного следа, связанных с высотными ветрами, может наблюдаться многолучевое распространение отраженного сигнала, приводящее к его глубоким замираниям в точке приема, что не позволяет аналитически предсказать изменения значения принимаемого сигнала во времени. Для примера, на рис. 2 приведена спектрограмма сигналов, принимаемых в ходе сеансов метеорной связи, отраженных от МСлН и МСлП [19], иллюстрирующая рассмотренные выше особенности радиоволн, отраженных от метеорных следов с различной степенью ионизации.

При организации метеорной связи важным параметром, определяющим варианты ее использования, является протяженность радиотрассы, на которой обеспечивается устойчивое доведение информации с сохранением заданной вероятности приема. Отражение радиоволн от МСл возможно как «назад», (т.е. осуществление приема практически в месте размещения радиопередающего устройства – РПДУ) так и «вперед» до максимального расстояния d_{max} , определяемого высотой отражения радиоволны h и геометрией земной поверхности. Считая, что в среднем $h \approx 100$ км, можно показать, что $d_{\text{max}} \approx \sqrt{8R_3h} \approx 2250$ км, где R_3 – радиус Земли. Действительно, из практики метеорной связи следует, что в зависимости от топологии размещения приемной и передающей антенн, может обеспечиваться обмен информацией на трассах протяженностью до $2,2 \div 2,3$ тыс. км.

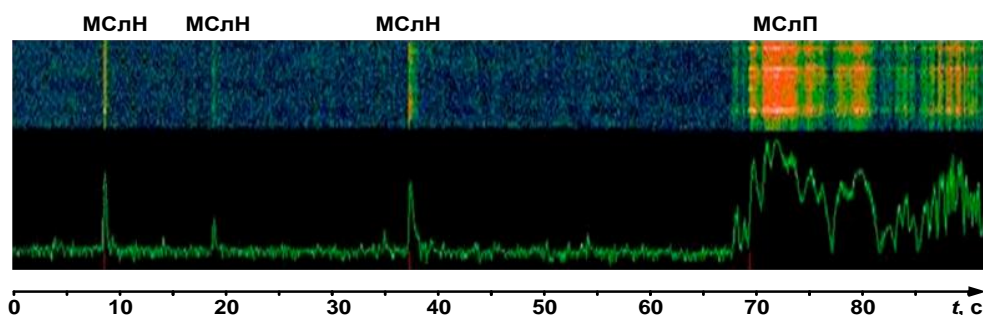


Рис. 2. Спектрограмма сигналов, отраженных от метеорных следов с различной степенью ионизации

Как следует из экспериментальных и теоретических исследований, среднее интегрированное количество метеорных следов K , попадающих в «пятно засветки» ионосферы передающей центральной станции (ЦС) от спорадических метеоров 1 \div 5 звездных величин при использовании 3 \div 5-элементной антенны «Удэ-Яги» составляет $K \approx 40$ в час, а от метеоров 6 \div 10 звездных величин (от следов которых еще происходит фиксируемое отражение радиоволны) составляет $K \approx 10\ 500$ в час (см. расчетный график на рис. 3).

Таким образом, несмотря на прерывистый и случайный характер появления метеорных следов, обеспечивающих возможность формирования тракта метеорной связи,

существуют их статистически устойчивые параметры. На рис. 4-6 приведены нормированные графики зависимости относительного процента появления метеорного следа, соответственно от времени суток, времени года и протяженности трассы, полученные путем усреднения экспериментальных данных [20-22].

Как следует из рассмотрения представленных графиков, наиболее благоприятными условиями для МС является организация связи на трассах, протяженностью 700 ÷ 1400 км в утренние часы (0 ÷ 6 ч по местному времени) в летне-осенний период.

В таких условиях количество МСл, пригодных для связи, может достигать до нескольких сотен в час, а средняя скорость обмена данными до 2 ÷ 3 Кбит/с. Однако, в суммарно неблагоприятных условиях («короткие» или «протяженные» радиотрассы,

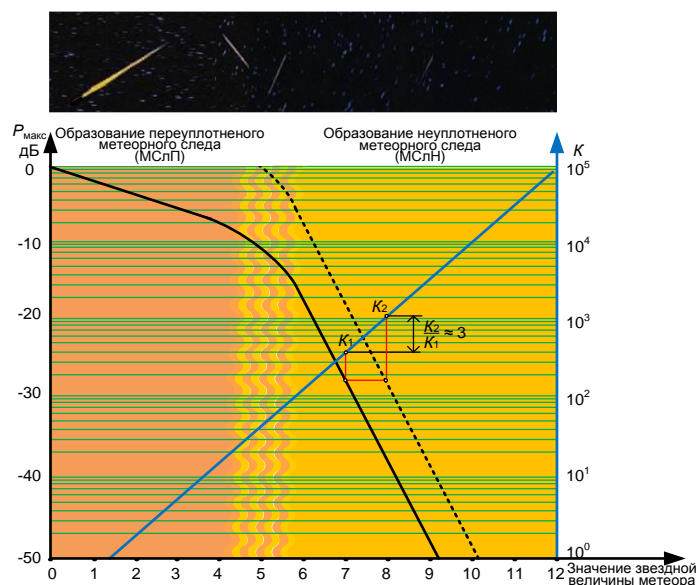


Рис. 3. Расчетный график

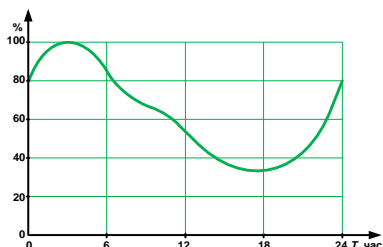


Рис. 4. Нормированный график зависимости появления МСл от времени суток

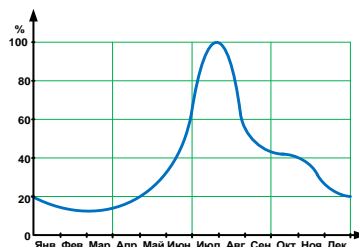


Рис. 5. Нормированный график зависимости появления МСл от времени года

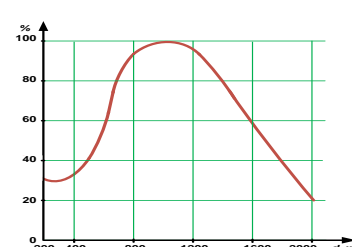


Рис. 6. Нормированный график зависимости появления МСл от протяженности трассы

вечерние часы и зимне-весенний период) среднечасовая скорость передачи данных может снизиться до 30 ÷ 40 бит/с.

Для определения возможных путей повышения эффективности метеорной связи представим формулы для оценки максимальной мощности принимаемого сигнала, отраженного от МСлН или МСлП [18, 23] в виде обобщенного выражения:

$$P_{\text{макс}}^{\text{пр}} = P_{\text{изл}} G_{\text{Апрд}} G_{\text{Апрм}} \lambda^3 F(\xi), \quad (2)$$

где $F(\xi)$ – функционал, характеризующий физические свойства конкретного метеорного следа, его «геометрию» относительно направления и протяженности радиотрассы, а также характеристики приемного устройства; $P_{\text{изл}}$ – мощность сигнала, излучаемого передатчиком; $G_{\text{Апрд}}$, $G_{\text{Апрм}}$ – коэффициенты усиления передающей и приемной антенн соответственно; λ – длина излучаемой радиоволны.

Как следует из анализа приведенной формулы (в случае фиксированных параметров функционала), при отражении от МСл мощность принимаемого сигнала можно повысить за счет увеличения $P_{\text{изл}}$. Вместе с тем, следует учитывать, что при $P_{\text{изл}} > 1 \div 2$ кВт существенно возрастает сложность и стоимость, в том числе и эксплуатационных расходов радиопередающего и антенно-фидерного оборудования, поэтому, как правило, для метеорной связи используются РПДУ с $P_{\text{изл}} = 0,1 \div 2$ кВт.

При оценке средней скорости обмена данными необходимо учитывать, что ее величина зависит не от одного конкретного метеорного следа, а от количества МСл, попадающих в «пятно засветки» области атмосферы, образованной передающей и приемной антеннами, в соответствии с их диаграммами направленности (ДН), см. рис. 7.

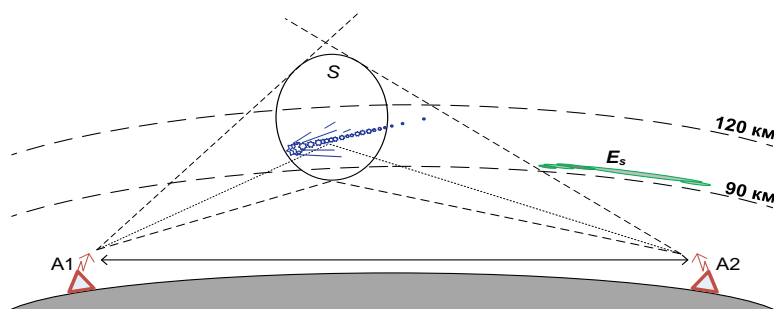


Рис. 7. Образование «пятна засветки» области атмосферы на метеорной трассе

Чем меньше будет площадь S этого «пятна», тем меньшее число метеоров будет использовано в процессе связи, что приведет к соответствующему уменьшению средней скорости передачи данных.

Учитывая это, в радиолиниях (РЛ) МСв обычно используются $3 \div 5$ – элементные антенны «Удэ-Яги» (волновой канал), имеющие горизонтальную линейную поляризацию и ширину ДН (по азимуту и углу места) по уровню минус 3 дБ $\theta \approx 50^\circ \div 70^\circ$ с коэффициентом усиления $G_A = 5 \div 8$ дБ [24, 25]. Повышение коэффициента усиления приводит к сужению ширины ДН и, как следствие, к описанному выше негативному эффекту.

Из анализа формулы (2) следует, что максимальное значение мощности принимаемого сигнала $P_{\text{Макс}}^{\text{пр}}$ уменьшается при снижении длины волны. Кроме того, как отмечено в [3, 16], на частотах свыше 60 МГц усиливаются отрицательные явления, связанные с многолучевостью отраженной от метеорного следа волны. В то же время, при увеличении длины волны $\lambda > 10$ м ($f_c < 30$ МГц) увеличиваются не только атмосферные помехи (кривая A на рис. 8 [26]), но также галактические (D) и промышленные (C) шумы.

Правомерность приведенных выводов подтверждается результатами экспериментальных исследований, которые показали, что в области рабочих частот $35 \div 60$ МГц обеспечивается наиболее высокая средняя скорость передачи данных. Причем, в отличие от декаметрового радиосвязи, в процессе передачи в течение суток отсутствует необходимость выбора оптимальных рабочих частот из-за изменения свойств ионосферы. С учетом этого, профессиональная аппаратура МСв ориентирована на указанный рабочий диапазон частот. Так, аппаратура метеорной связи разработки ОАО «НИИ «Нептун» [11] позволяет обеспечить функционирование в диапазоне $47 \div 58$ МГц, а в главной (центральной) станции метеорной связи разработки фирмы «Meteor Communications Corporation» МСС-6560 реализована возможность обмена данными в частотном диапазоне $37 \div 60$ МГц.

При доведении сообщений по метеорному каналу связи от центральной станции до абонентского пункта (АП) используются два основных алгоритма:

- а) без обратной связи;
- б) с обратной связью (с реакцией абонента на принятый от ЦС сигнал в виде ответной радиограммы, «подтверждения» или «запроса»).

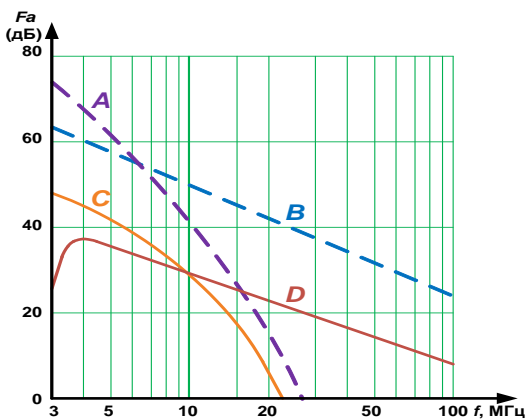


Рис. 8. Значения атмосферных помех, промышленных и галактических шумов:
A – атмосферные помехи, значение превышаемое в течении 0,5 % времени;
B – медианное значение промышленного шума (в промышленной зоне);
C – минимальное ожидаемое значение атмосферных и промышленных шумов (вне промышленной зоны);
D – галактический шум.

В соответствии с первым алгоритмом осуществляется непрерывная многократная передача (от ЦС) коротких сообщений или блоков (пакетов) сообщений. При этом количество передач определяется статистическими характеристиками канала связи, зависящими, как показано в 1-ом подразделе статьи, от ряда параметров передающей и приемной аппаратуры, протяженности радиотрассы и т. д.

Для радиотрасс с протяженностью $d = 700 \div 1400$ км, $P_{изл} \approx 1$ кВт и $G_{\Sigma} = G_{Апрд} + G_{Апрм} \approx 15$ дБ, как показывают расчеты и результаты трассовых испытаний, в среднем в час будет наблюдаться $60 \div 180$ метеорных следов, обеспечивающих прием зондирующего сигнала с полосой 100 Гц в течении $\Delta t_{Мсл} > 0,2$ с для каждого МСл. При этом необходимо отметить, что количество метеорных следов неравномерно распределено в течении часа, и для отдельного минутного интервала времени вероятность появления одного и более из них может оказаться достаточно низкой. Следовательно, для обеспечения приема блока сообщения, длительностью $\Delta t_{Б} < 0,5 \Delta t_{Мсл}$ с вероятностью $P > 0,95$ потребуется передавать его непрерывно в течение $5 \div 6$ минут, а в случае применения в абонентской аппаратуре процедуры «накопления» и восстановления блока сообщения по всем реализациям факта приема, может быть либо увеличена длительность блока, либо сокращено время его непрерывной передачи.

Одной из важных задач при доведении сообщений по метеорному каналу связи (МкС) является выбор скорости передачи данных. Предполагая, что в частотной полосе передаваемого сигнала отсутствуют сосредоточенные помехи, а действуют только галактические шумы, аппроксимируемые аддитивным гауссовским шумом (см. кривую *D* на рис. 8), в соответствии с теоремой Шеннона-Хартли верхняя граница скорости передачи информации может быть определена по формуле [27]:

$$V_{max} = \log_2 \left(1 + \frac{P_c}{\Delta f_c N_o} \right)^{\Delta f_c} \quad (3)$$

где P_c – мощность принимаемого сигнала, Δf_c – частотная полоса, занимаемая сигналом; N_o – спектральная плотность шума.

На рис. 9 синим цветом представлены графики изменения отношения сигнал/шум W в зависимости от времени t для двух характерных реализаций при приеме зондирующего (вызывного) сигнала с полосой $\Delta f_c = 100$ Гц. На этом же рисунке красным цветом приведены соответствующие графики зависимости предельно достижимой скорости передачи V_{max} , рассчитанные по формуле (3).

В случае отсутствия информации о параметрах отраженного от метеорного следа сигнала на ЦС (что характерно для первого алгоритма организации связи) с целью гарантированного доведения сообщения (пакета сообщения) до абонента целесообразно ориентироваться на неблагоприятные условия связи (отсутствие в период сеанса связи отражений от МСлП и наличия только «слабых», отраженных от МСлН сигналов). Для рассматриваемого примера, как следует из анализа графика *B* на рис. 9, изменение предельно достижимой скорости передачи от времени (V_B), при априорно неизвестных параметрах связи (времени появления МСл, уровня отраженного сигнала) скорость передачи не должна превышать $1,5 \div 2$ кБит/с. Таким образом, как легко показать, оптимальной (с точки зрения достижения высокой вероятности доведения информации $P > 0,95$) длина блока сообщения должна составлять $150 \div 200$ бит при времени его передачи не менее пяти минут. Столь низкая суммарная скорость передачи хотя и обеспечивает устойчивое доведение коротких сообщений, однако, может быть рекомендована только для передачи информации, не требующей доставки в реальном масштабе времени, например: метеоданных, показателей счетчиков учета потребляемой электроэнергии, суточного расхода определенных ресурсов и т. п.

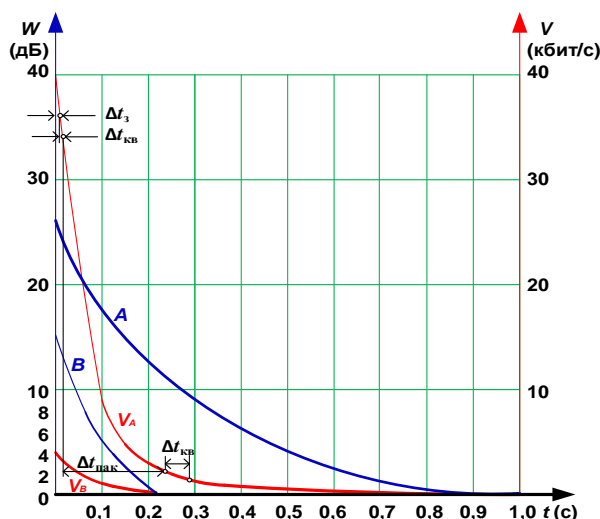


Рис. 9. Оценка предельной скорости передачи в метеорном канале связи

Тем не менее, одним из положительных факторов в случае применения алгоритма без обратной связи, является возможность реализации комплектов приемной аппаратуры с малыми габаритами и энергопотреблением, аналогичных обычному мобильному радиотелефону, что позволяет использовать такой режим для дистанционного управления необслуживаемыми исполнительными устройствами, находящимися в труднодоступных районах (горная местность, острова, дрейфующие льдины и т. п.), а также для индивидуальной «пейджинговой» связи при использовании укороченной активной приемной антенны.

Кроме того, хотя «пейджинговый» режим и не обладает информационной скрытностью в силу непрерывности передачи сообщения в течение длительного времени, однако, при нахождении «мешающей» станции на расстоянии более 200 км от ЦС постановка преднамеренной помехи окажется проблематичной из-за различия моментов появления отражающих метеорных следов для непараллельных радиотрасс.

Вместе с тем, в случае «пейджингового» алгоритма доведения информации не используются реальные возможности высокоскоростной передачи при появлении неуплотненных и переуплотненных МСл с соответствующими характеристиками по отражению радиосигналов (спектрограмма на рис. 2). Для реализации такой возможности используется второй алгоритм – алгоритм с обратной связью, который в отличие от первого

алгоритма обладает определенной информационной скрытностью. Для иллюстрации на рис. 10, а) – з) приведены диаграммы, характеризующие относительный процент убывания объема перехваченной информации при различных удалениях объекта контроля (ОК) от абонентского пункта метеорной связи. Из рассмотрения рис. 10 следует, что при удалении ОК от АП на расстояние более 200 км перпендикулярно трассе связи, доля перехваченной информации не превысит $\Omega \approx 5\%$ от её общего переданного объема.

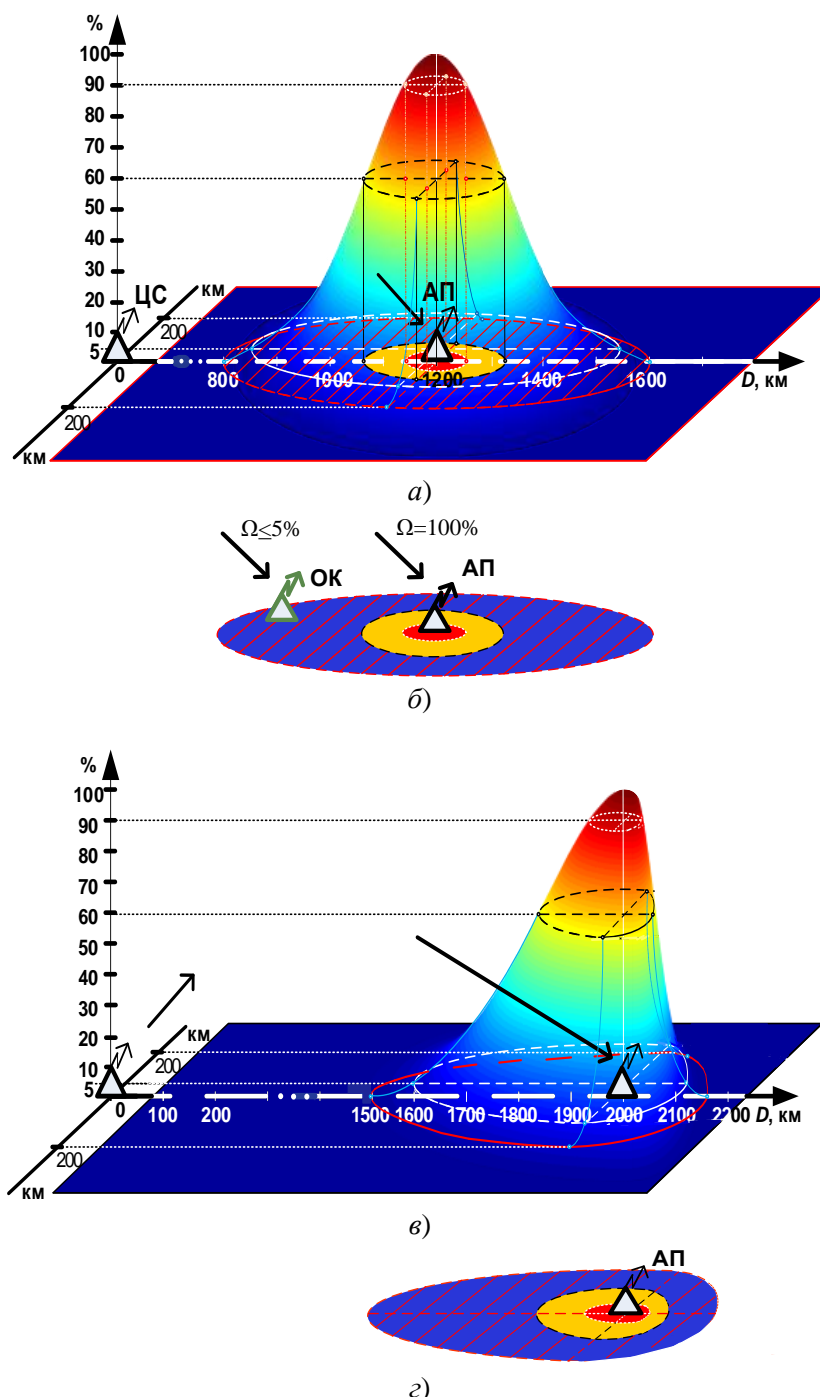


Рис. 10. Иллюстрация обеспечения информационной скрытности в метеорном канале связи

Различные варианты протоколов по реализации алгоритмов «с обратной связью», в том числе для дуплексного и сетевого обмена информацией, достаточно полно изложены в литературе [28-32]. Общим в этих протоколах является решение задачи по оптимизации скорости передачи данных путем доведения в реальном масштабе времени до передающей

стороны текущих характеристик отраженного от МСл сигнала или других параметров для управления радиопередающим устройством ЦС (уровня, мощности, вероятности ошибки в приеме бита или блока информации, рекомендуемой скорости передачи пакета, необходимости повторной передачи пакета информации, и т. п.).

Например, для достаточно мощного сигнала, отраженного от МСлН целесообразно после приема короткой кодовой комбинации запроса на передачу Δt_3 , (см. рис. 9), передать за время $\Delta t_{кв}$ квитанцию, содержащую параметры сигнала и шума в моменты времени t_0 и t_1 (или другие необходимые параметры, перечисленные выше), в соответствии с которыми на передающей стороне определяется модель отражения сигнала от метеорного следа и устанавливается скорость передачи, обеспечивающая выполнение требований по заданной вероятности ошибки $p_{ош}$ в приеме сообщения. Оценка значений ошибки на бит сообщения при когерентном приеме сигнала в двоичной системе может быть вычислена по формуле [27]

$$p_{ош} = \left[\frac{1}{2} + \Phi(\gamma h) \right], \quad (4)$$

где γ – коэффициент, определяющий вид модуляции сигнала; $\Phi(\gamma h)$ – табулированная функция Крампа.

Как следует из формулы (4), значение вероятности ошибки резко убывает с увеличением отношения средней энергии элемента сигнала с длительностью Δt_c к спектральной плотности помехи (шума)

$$h^2 = \frac{P_c \Delta t_c}{N_o}. \quad (5)$$

Следовательно, для сохранения заданной вероятности приема бита сообщения, соответствующей значению $h_{пр}^2$, необходимо, чтобы значения h_i для каждого принимаемого i -го бита в момент t_i в процессе сеанса связи удовлетворяли неравенству: $h_i^2 > h_{пр}^2$.

Вместе с тем, для МСлН, исходя из формулы (1), мощность принимаемого сигнала будет уменьшаться во времени пропорционально величине $e^{-2t/\tau}$, следовательно, для выполнения предельного значения $h_i^2 \approx h_{пр}^2$ необходимо, чтобы длительность бита сигнала увеличивалась по закону

$$\Delta t_i = t_o e^{\frac{2t_{i+1}}{\tau}}.$$

Очевидно, что изменение длительности каждого бита сообщения по такому закону проблематично с точки зрения практической реализации. Изменение длительности бита сообщения (скорости передачи) целесообразно осуществлять через интервал времени $\Delta t_b = \Delta t_k - \Delta t_i$, в течение которого может быть передан блок информации с постоянной скоростью (соответствующей значению Δt_{i+k}) и получена ответная радиограмма от абонента.

Примечание. Можно показать, что такой алгоритм работы окажется эффективным и в случае отражения волны от МСлП.

Как показало моделирование, для варианта А (см. рис. 9) приема сигнала, отраженного от неуплотненного метеорного следа, рассмотренным методом обработки достигается возможность передачи примерно двух кБит информации за время существования МСл при средней вероятности ошибки на бит в блоке сообщения $p_{ош} \approx 10^{-2}$, а при оптимальной постоянной скорости передачи (определяемой через производную от функции изменения $V(t)$) – не более одного кБита. Следовательно, теоретически, при переменной скорости передачи объем доводимой до абонента информации можно увеличить более чем в два раза. Однако, при практической реализации, с учетом возможности неприема соответствующей квитанции, неполного соответствия реального изменения во времени соотношения сигнал/шум выбранной модели, разного уровня помех на приемной и передающей стороне и т. п. при ориентировании на максимально возможную скорость

передачи увеличивается объем корректирующих квитанций и повторов пакетов, принятых с ошибками, что реально снижает потенциально возможный выигрыш от частой смены скорости передачи. Кроме того, при отношении сигнал/шум менее 15 дБ и $\Delta t_{\text{Мсл}} < 0,1$ с, (см. рис. 9, вариант В) с учетом времени на запрос и квитанцию выигрыш от «сложных» алгоритмов изменения скорости оказывается незначительным по сравнению с передачей на одной оптимальной скорости и для представленного варианта не превышает $5 \div 10$ %.

Таким образом, для эффективного использования «сложных» алгоритмов функционирования метеорного тракта связи следует использовать методы, обеспечивающие увеличение вероятности появления отраженных сигналов со значениями отношения $W\left(\frac{\text{сигнал}}{\text{помеха} + \text{шум}}\right) > 17 \div 20$ дБ.

Выше было показано, что одним из методов повышения мощности принимаемого сигнала является увеличение коэффициента усиления $G_{\text{Апрд}}$ и $G_{\text{Апрм}}$. При этом отмечено, что уменьшение объема «пятна засветки» антеннами области появления метеорных следов может привести к снижению суммарной скорости передачи в тракте метеорной связи. Эффективным методом ухода от такого ограничения является использование приемной антенно-фидерной подсистемы, обеспечивающей формирование «веера» узких диаграмм направленности, которые суммарно реализуют полное «перекрытие» необходимого пространства S (см. рис. 11).

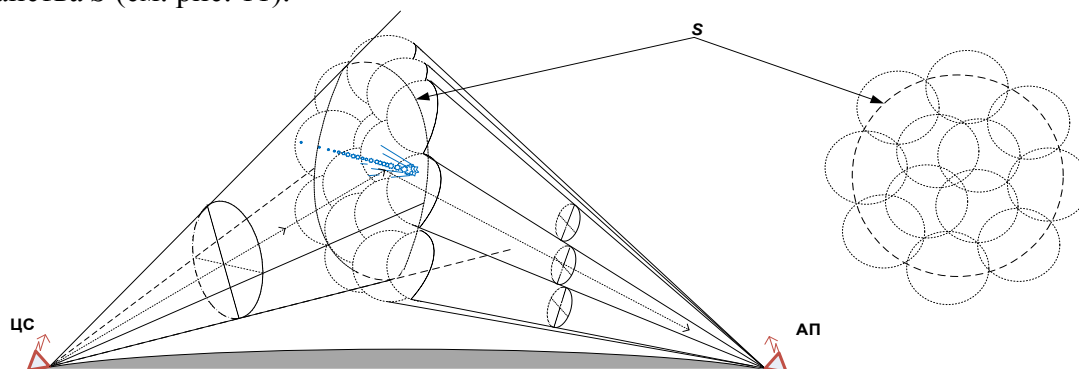


Рис. 11. Формирование «веера» диаграмм направленности многолучевой антенно-фидерной подсистемой

Применение мультидиаграммной (многолучевой) антенно-фидерной подсистемы (МАП) позволяет не только обеспечить прием «слабых» сигналов, но также повысить эффективность связи при боковом смещении от плоскости «большого круга» зоны отражения радиоволны, отмеченном в работах [33, 34]. Кроме того, использование МАП позволяет за счет относительного сдвига секторов «ослабленного» приема парциальных ДН значительно снизить уровень сосредоточенных помех, вероятность появления которых возрастает с повышением скорости передачи и соответствующем увеличении частотной полосы, занимаемой полезным сигналом. На рис. 12 приведен пример, поясняющий возможность подавления помехи при использовании МАП.

При построении приемной антенной решетки для обеспечения непрерывного функционирования метеорного тракта связи необходимо учесть возможность «экранирования» метеорных следов спорадическим слоем E_S (см. рис. 7), время существования которого может превышать несколько десятков часов [35].

Таким образом, для организации непрерывной связи, в том числе и при появлении спорадического слоя E_S , следует использовать антенные элементы с круговой поляризацией. Для антенн типа «Удэ-Яги» это просто обеспечивается путем установки на мачте двух смещенных на 90 градусов двух(трех)-элементных линейно-поляризованных антенн, рис. 13 [25].

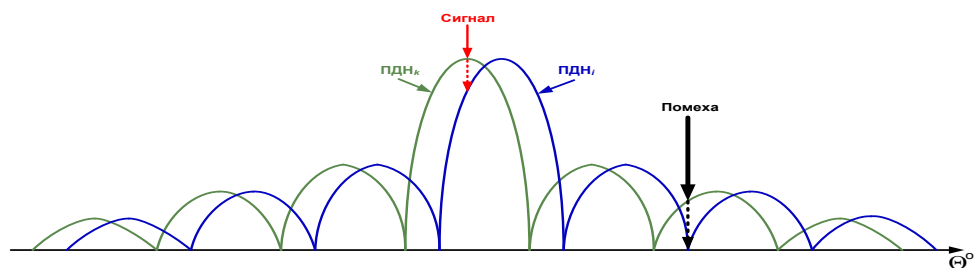


Рис. 12. Подавление помех при использовании многолучевой антенно-фидерной подсистемы

Хотя частотный диапазон, используемый для метеорной связи, и алгоритм обмена данными позволяют и в этом случае осуществлять прием сообщения, однако, в силу неоднородности слоя E_S , поляризация отраженной волны может изменяться от горизонтальной (ГП) до вертикальной (ВП).

Примечание: Необходимо отметить, что при МСв также наблюдается нестабильность поляризации отраженной от метеорного следа волны [20].

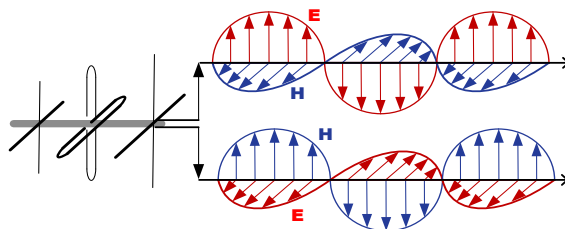


Рис. 13. Антенна типа «Удэ-Яги» с вертикальной и горизонтальной поляризацией

Вариант размещения антенн для построения мультидиаграммной антенной решетки (МАР) с учетом их диаграмм направленности приведен на рис. 14, а).

Представленная конфигурация МАР из 15 антенн «Удэ-Яги» с круговой поляризацией позволяет сформировать необходимое количество парциальных ДН с $G_i \approx 17 \div 18$ дБ и с характеристиками по ширине ДН по азимуту и углу места $\theta_i \approx 12 \div 15^\circ$ с горизонтальной и вертикальной поляризацией, рис. 14, б).

Как показывают расчеты, для полного перекрытия всей области возможного появления метеорных следов, позволяющих обеспечить связь ЦС с АП с учетом одновременного подавления сосредоточенных помех, потребуется реализовать ориентировочно $M \approx 100$ ПДН ($N = 50$ ПДН с горизонтальной поляризацией и $N = 50$ – с вертикальной, $M = 2N$).

Основными функциональными узлами приемного комплекта аппаратуры метеорной связи являются блок формирования парциальных диаграмм направленности (БФПДН), блок приема и формирования служебных кодограмм (БПФСК), а также блок приема и обработки сообщений (БПОС), см. рис. 15.

Исходя из реальных характеристик метеорного канала связи по максимальной скорости передачи информации, общая частотная полоса каждого банка фильтров [36] должна составлять $\Delta f_c^{\max} \approx 20 \div 40$ кГц (40 ÷ 80 узкополосных фильтров с $\Delta f \approx 500$ Гц). Частотная полоса «среднего» фильтра Δf_{cc} , настроенного на рабочую частоту может составлять до 0,1 ÷ 1,5 кГц в зависимости от вида модуляции в кодограмме запроса с ЦС на начало передачи.

При этом целесообразно передавать все служебные сообщения в виде коротких формализованных кодограмм на фиксированной скорости, не превышающей 0,6 ÷ 1 кБит/с с общим временем передачи $t_3 \leq 15$ мс, поскольку их неприем может существенно увеличить время, необходимое для проведения сеанса связи.

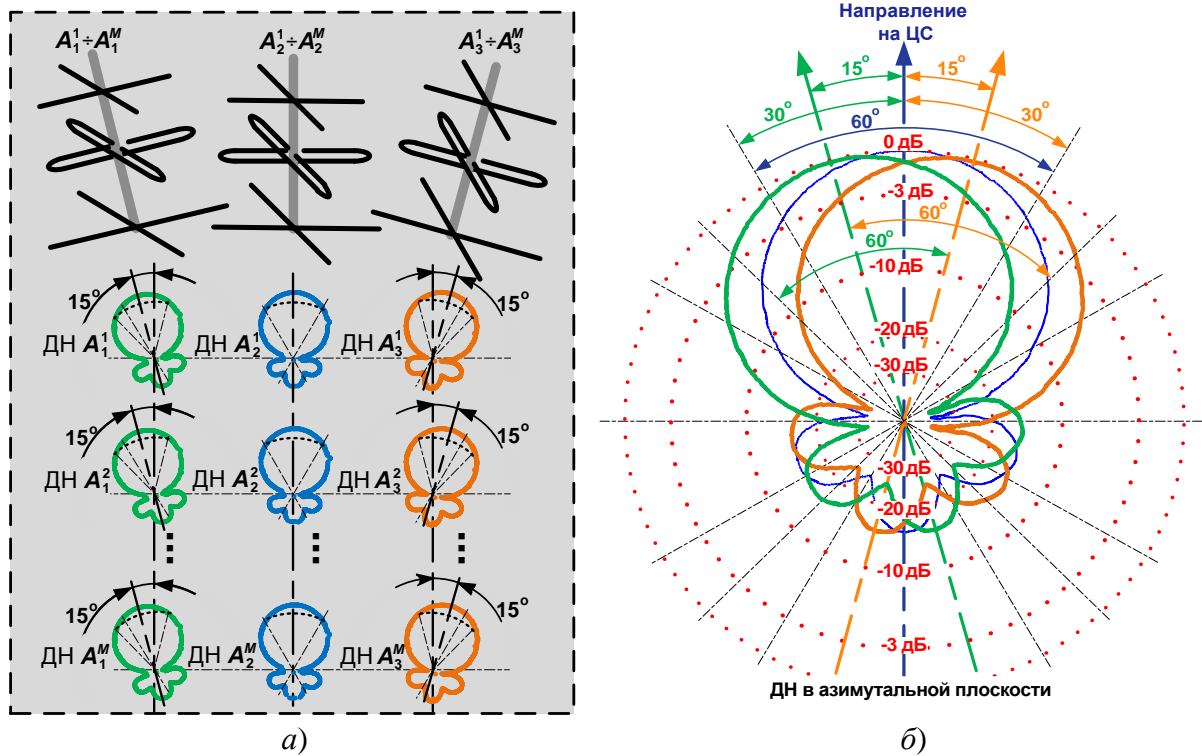


Рис. 14. Построение мультидиаграммной антенной решетки

Примечание: Для сокращения времени передачи сообщений следует исключить из их структуры синхронизирующие импульсы, а синхронизацию проводить по элементам текста сообщения (пакета) с использованием алгоритма Витерби [37].

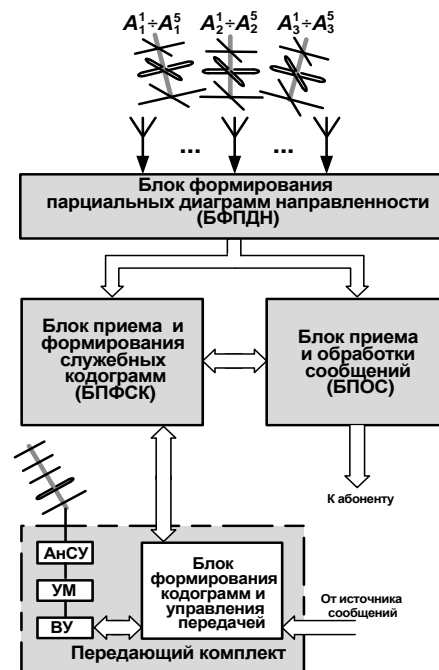


Рис. 15. Структурная схема приемо-передающего комплекта аппаратуры метеорной связи

Рассмотренная структура построения элементов тракта метеорной связи в силу необходимости использования антенного поля с ориентировочными размерами 25×50 м

может быть рекомендована, в основном, для стационарных радиоцентров, размещаемых на островах, или на крупногабаритных НПУ. Вместе с тем, размеры АФП можно значительно снизить за счет использования укороченных активных антенн с многоярусным размещением.

Для иллюстрации эффективности предлагаемых технических решений на рис. 3 черным цветом приведен расчетный график нормированной зависимости максимального значения мощности принимаемых отраженных сигналов от МСл, образованных метеорами различной звездной величины, в предположении, что передача осуществляется при постоянных значениях $P_{\text{изл}}$, d и $G_{\text{прд,прм}}$. Из анализа графиков рис. 3 следует, что даже без учета реализации переменной скорости передачи, только за счет использования мультидиаграммной фазированной антенной решетки, обеспечивающей дополнительное повышение P_{max} на $10 \div 12$ дБ, осуществляется увеличение количества «рабочих» метеоров в среднем в 3 раза (см. рис. 3, пунктирная линия), что позволит обеспечить соответствующее уменьшение времени, необходимого для передачи сообщения.

Таким образом, как следует из представленных материалов, при одновременном использовании ДКМ и метеорных каналов связи будет обеспечено устойчивое доведение информации в северных широтах до НПУ (или пункта ретрансляции) на радиотрассах протяженностью до 2200 км независимо от аномальных явлений в ионосфере, а также действия случайных и преднамеренных помех.

Информация, принятая на НПУ по двум или по одному из двух каналов связи (ионосферному и метеорному) после обработки в блоке синтеза суммарного сообщения (или на ГАБ по оптоволоконному подводному кабелю) может быть доведена до удаленного МРТК, находящегося в подводном (подледном) положении по гидроакустическому каналу связи (ГАК). При этом в случае удаления управляемого объекта в глубоководном состоянии от НПУ (корабль обеспечения, буровая платформа) или ГАБ свыше 100 км возможны два варианта доведения сигналов (команд) управления по ГАК:

использование группы автономных необитаемых подводных аппаратов-ретрансляторов (АНПА-Р), см рис. 1;

использование низкоскоростного модема с гидроакустической системой передачи, обеспечивающей мощность излучения не менее 1 кВт.

Для первого варианта доведения необходимо обеспечить возможность взаимодействия АНПА-Р на максимальном удалении друг от друга

3 Доведение информации по гидроакустическому каналу связи

При оценке вероятности выполнения миссии, требующей значительного удаления МРТК от места базирования (до 100 км и более), необходимо учесть возможность деградации основных элементов МРТК, несовместимой с успешным завершением миссии, обусловленной параметрами надежности элементов аппарата, случайными повреждениями АНПА, в том числе вследствие столкновений с крупными объектами или представителями морской фауны, айсбергами, рыболовными сетями и т. п., не исключая умышленных повреждений или уничтожения АНПА. Причем вероятность выполнения миссии $P_{\text{вм}}$ будет уменьшаться в зависимости от увеличения количества всплытий для уточнения координат и проведения сеансов связи с НПУ. Отсюда с очевидностью следует необходимость реализации искусственного интеллекта в интегрированной системе управления АНПА, позволяющей обеспечить оптимальную трассу перемещения, и её коррекцию в случае наличия незапланированных (случайных) препятствий или угроз.

В ряде работ [38-40] для обеспечения живучести подводных объектов (робототехнических подводных комплексов, подводных лодок, АНПА и т. п.) предлагается создавать сети подводной интегрированной связи (СПИС) с реализацией составного радио-гидроакустического канала в направлении НПУ – подводный объект. Так предлагаемый АО «НИИ Гидросвязи «Штиль» вариант построения СПИС реализуется на базе нескольких

автономных донных линий связи, каждая из которых состоит из промежуточных пунктов доступа и концевых гидроакустических модемов, объединенных оптоволоконной линией связи. Взаимодействие сети связи с береговым пунктом управления осуществляется по радиоканалу через автономный гидроакустический буй-ретранслятор, входящий в её состав. Вместе с тем, как отмечается в работе [39], при необходимости развёртывания такой СПИС в отдалённых районах ограничивающими факторами могут оказаться сложность, безопасность и стоимость её развёртывания, а также ограниченность дальности взаимодействия с подводными аппаратами.

Использование группы (роя) АНПА-ретрансляторов для доведения сигналов управления от НПУ подразумевает наличие необходимого количества автономных аппаратов, реализующих сеть взаимодействующих подводных ретрансляторов. В простейшем случае рой ретрансляторов может быть представлен в виде цепочки ретрансляторов из $N_{АНПА}$ – ретрансляторов, минимальное число которых можно определить по формуле $N_{min} \approx [L/l_{max}]$, где L – расстояние между НПУ и РТК, l_{max} – максимальная дальность связи между соседними АНПА, реализуемое по гидроакустическому каналу связи; [...] – целая часть числа. То есть для минимизации числа АНПА в цепочке требуется обеспечить возможно больший показатель для l_{max} .

Как следует из табл. 1, для современных модемов заявляемая максимальная дальность ГАС составляет до 30 км. Однако, в настоящее время к подсистеме ГАС, в значительной степени определяющей успешность выполняемых автономным необитаемым подводным аппаратом специальных заданий, предъявляются более высокие требования по максимально достижимым значениям l_{max} [38].

Таблица 1 – Сравнительная характеристика модемов гидроакустической связи

Параметры модема	S2C R 8/16 Германия	S2C R 40/80 Германия	Acoustic Modem Германия	UWM 2000H США	ВСГС Россия (АО «НИИ Гидросвязи «Штиль»)	ГАСС Россия (ДВО РАН)
Дальность действия (км)	10,0	2,5	30	6,0	10,5	8,0
Максимальная скорость передачи данных (кбит/с)	6,9	35,7	0,145	17,8	57,6	4
Частота излучения (кГц)	8 ÷ 16	40 ÷ 80	–	26,77 ÷ 44,62	18,75 ÷ 42,75	16 ÷ 20
Вероятность ошибки	–	–	–	10^{-9}	10^{-9}	–
Вес модема, (кг)	4,2	2,1	–	–	–	–

Для оценки энергетической дальности действия гидроакустической системы в разных режимах её функционирования (эхо-локации, шумопеленгования, телеметрии), как правило, используется общее уравнение, которое применительно к ГАС можно представить в виде [41-44]:

$$\frac{p_0^2 r_0^2 D_1^2(\varphi) D_2^2(\varphi)}{R^2} \cdot 10^{-0,1\beta R} \cdot A_\Phi = h^2 p_n^2(f_{pч}, \Delta f_p), \quad (6)$$

где $p_n(f_{pч}, \Delta f_p)$ – давление помехи в рабочей полосе частот Δf_p ; p_0 – давление, развиваемое передающей антенной с излучаемой мощностью $P_{изл}$ на условном расстоянии r_0 ; $D_1(\varphi)$ и $D_2(\varphi)$ – характеристики направленности передающей и приемной антенн соответственно; h^2 – отношение энергии сигнала к спектральной плотности помех; R – расстояние между гидроакустическими передатчиком и приемником; $f_{pч}$ – рабочая частота передаваемого сигнала; β – пространственный коэффициент затухания звуковых волн в воде; $A_\Phi = 10 \lg \Phi$ – фактор аномалии распространения звуковых волн, учитывающий фокусировку ($\Phi < 1$) и дефокусировку ($\Phi > 1$) акустического поля.

В [41] показано, что с учетом частотных зависимостей уровня шумов моря и затухания сигнала для трансцендентного уравнения (6) существует оптимальное значение рабочей

частоты $f_{рч}$, для которой при фиксированных параметрах гидроакустического тракта связи (включая передающий и приемный комплекты) обеспечивается максимальная дальность связи.

Так для антенн плоскостного типа при спектральной плотности помех вида $G(f) \sim f^{-n}$, где $n = 1 \div 2$, значение оптимальной частоты составит:

$$f_{опт} \approx n'R^{-2/3}10^3 \text{ кГц}, \tag{7}$$

где $n' \approx 1,9 \div 3$, т. е. для $R \approx 50 \div 100$ км значения оптимальной частоты будет находиться в диапазоне $f_{опт} \approx 2 \div 3$ кГц.

Близкие значения $f_{опт}$ получаются и при использовании антенн линейного типа, для которых в этом случае габаритные размеры составят до $1,5 \div 3$ м, что может создать значительные конструктивные трудности, а в ряде случаев и отказ от установки таких гидроакустических антенн на мало- и среднегабаритных АНПА.

Переход на более высокие частоты излучения, в силу уменьшения габаритов антенных элементов, позволит устанавливать на АНПА фазированные адаптивные решетки (ФАР), обеспечивающие подавление помех от посторонних излучателей (т. е. уменьшения значения p_n) и увеличение коэффициента $D_2(\varphi)$ в направлении на полезный сигнал, тем самым реализуя возможность увеличения дальности связи. В предположении отсутствия (или подавления) помех от посторонних излучателей проведем расчеты по дальности ГАС для минимальных и максимальных значений (пунктирная и штрихпунктирная линии на рис. 16) спектральных характеристик шумов моря.

Учитывая большой разброс численных значений величин, входящих в формулу (6), для наглядности графического представления соответствующих расчетов приведем её к виду:

$$\lg h = \lg p_o + \lg D_1(\varphi) + \lg D_2(\varphi) + \frac{1}{2} \lg A_\Phi - \lg R - \frac{1}{20} \beta R - \lg p_n(f_{рч}, \Delta f_p). \tag{8}$$

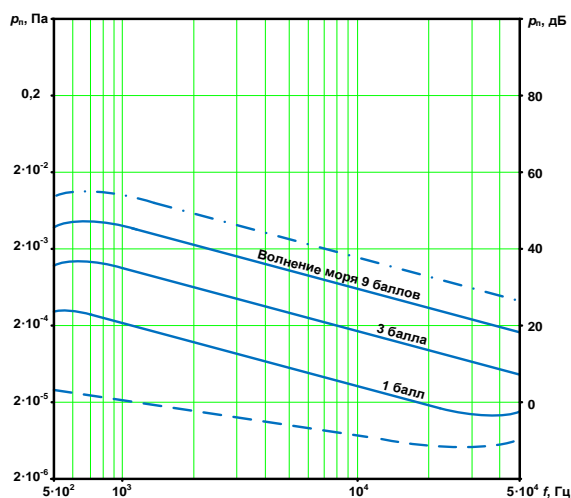


Рис. 16. Спектральная характеристика шумов моря

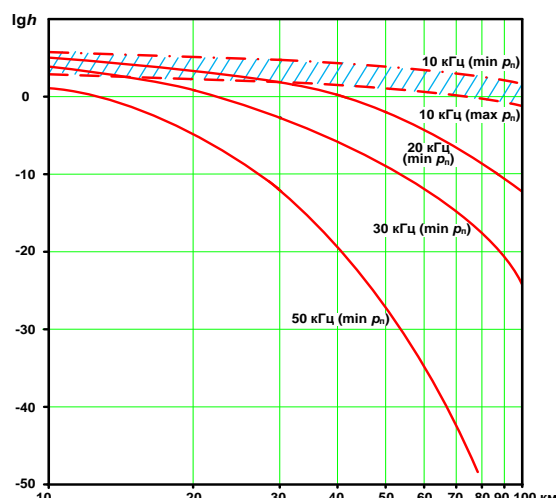


Рис. 17. Зависимость значений $\lg h$ от дальности взаимодействия между АНПА в группе

На рис. 17 представлены результаты расчетов по формуле (8) значений $\lg h$ в зависимости от расстояния между АНПА при взаимодействии в группе для следующих исходных данных: $D_1(\varphi) = 1$, $A_\Phi = 1$, $\beta = 0,036 f_s^{3/2}$ дБ/км, $\Delta f_{рч} = 1$ Гц, мощность излучения сигнала $P_{изл} = 100$ Вт, $r_0 = 1$ м. Значения $p_n(f_{рч}, \Delta f_p)$ вычислялись в соответствии с графиками рис. 16, в предположении использования четырехэлементной адаптивной ФАР, реализованной на базе гидроакустических приемных антенн цилиндрического типа, обеспечивающей подавление помех от посторонних излучателей и формирование максимума диаграммы направленности в направлении на полезный сигнал.

Из анализа графиков следует, что на частотах свыше 10 кГц реализовать устойчивую связь при $R > 100$ км достаточно проблематично, поскольку даже при передаче

рассматриваемого узкополосного сигнала, с полосой $\Delta f_p = 1$ Гц и $f_{pч} = 10$ кГц, в условиях наличия только естественных шумов моря значение отношения сигнал/шум будет находиться в пределах $h \approx 0,06 \div 5$, т. е. при реализации в гидроакустическом модеме некогерентного приема, удовлетворительная вероятность доведения информации может быть обеспечена только в условиях минимальной шумности моря (штрихпунктирная линия на рис. 17).

Рассмотренный первый вариант доведения информации до РТК по «цепочке» взаимодействующих АНПА-гидроакустических ретрансляторов хотя и обладает определенной энергетической скрытностью, однако для больших значений L (например, 500 км) потребуется не менее $N_{\min} = 10$ АНПА, что может негативно сказаться на живучести составного тракта доведения в целом.

Для второго варианта доведения по ГАК при использовании высокой мощности излучений существенно снижается скрытность факта управления объектом (МРТК) и резко снижается скорость, при которой обеспечивается высокая вероятность доведения сигналов управления, однако, повышается живучесть тракта.

Как следует из расчетов, проведенных по формуле (6), при усредненных значениях спектральных характеристик шумов моря скорость передачи для устойчивого доведения информации должна быть не более 0,5 Бит/с при протяженности трассы 300 ÷ 400 км и мощности излучения $P_{\text{изл}} \approx 1$ кВт. Поскольку при таких скоростях передачи частотная полоса, занимаемая сигналом, будет составлять менее 0,5 Гц, то влияние эффекта Доплера существенно усложнит алгоритм обработки принимаемой информации.

Вместе с тем, известно, что в океанской среде крупные морские животные общаются на значительных расстояниях друг от друга. Так, например, как показывают исследования, проведенные в рамках гидробионики, общение горбатых китов может осуществляться при их взаимном удалении свыше 1000 км. На рис. 18 представлен фрагмент спектрограммы зова кита.

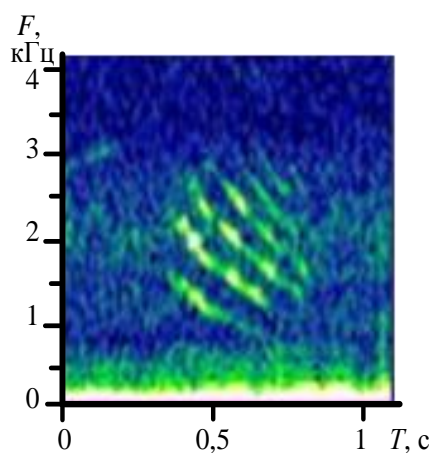


Рис. 18. Фрагмент спектрограммы зова кита

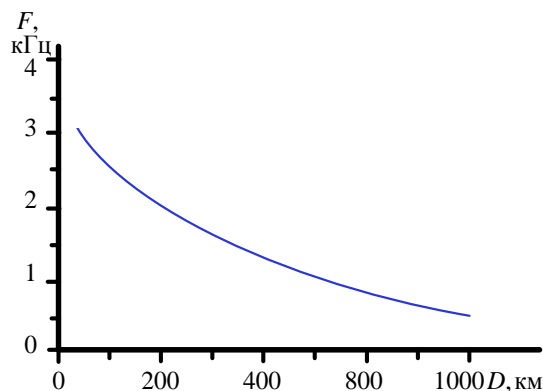


Рис. 19. Расчетная характеристика оптимальной частоты излучения гидроакустического сигнала

Как следует из анализа рис. 18, основные элементы спектрограммы могут быть аппроксимированы «пакетом» линейно-частотно-модулированных (ЛЧМ) сигналов. В предположении их квазикогерентного сложения (реальный «механизм» совместной обработки элементов сигналов китов неизвестен), а также одинаковой мощности и длительности, можно примерно оценить помехоустойчивость суммарного рассматриваемого сигнала:

$$h^2 \approx k \frac{P_c \Delta t_c}{v^2}, \tag{9}$$

где k – количество ЛЧМ сигналов в «пакете»; Δt_c – длительность сигнала, P_c – мощность отдельного сигнала, v^2 – спектральная плотность шума в морской среде.

С точки зрения помехоустойчивости, такой «пакет» сигналов будет ориентировочно эквивалентен передаче одного «короткого» (длительностью Δt_c) ЛЧМ сигнала с мощностью

излучения $P_{\Sigma} \approx k \cdot P_c$ (т. е. $h^2 \approx \frac{(kP_c)\Delta t_c}{v^2}$), или «длинному» ($\Delta t_{\Sigma} = k \cdot \Delta t_c$) ЛЧМ сигналу с мощностью излучения P_c (т. е. $h^2 \approx \frac{P_c(k\Delta t_c)}{v^2}$).

Примечание: «многочастотность» зова кита может быть объяснена ограниченностью мощности излучения отдельным «звуковым резонатором» их голосового аппарата.

Таким образом, одним из вариантов энергетической имитации бионического сигнала (S_B) при ограничении мощности излучения может быть ЛЧМ сигнал с параметрами $f_{\min} \approx 0,7$ кГц; $f_{\max} \approx 3,1$ кГц; $\Delta t_{\Sigma} \approx 1 \div 2$ с; $P_c \approx 2$ кВт (исходя из имеющихся данных по значению акустической мощности зова кита).

Необходимо подчеркнуть ряд особенностей такого сигнала S_B . Результаты теоретических расчетов по формуле (7) для усредненных значений переменных составляющих водной среды с учетом использования антенны линейного типа приведены на рис. 19. Как следует из графика, диапазон рабочих частот в имитационном сигнале S_B соответствует значениям расчетных оптимальных частот для различных протяженностей подводных трасс, вплоть до 1000 км.

Еще одной из особенностей имитационного ЛЧМ сигнала является его характерное звучание при слуховом приеме, которое позволяет оператору (гидроакустику или радиотелеграфисту) с высокой вероятностью (большей, чем при приеме узкополосного сигнала) зафиксировать факт его появления даже в условиях мощных помех.

Кроме того, поскольку человеческий мозг способен к инвариантному распознаванию заранее известных образов (по сигналам, поступающим от зрительной системы), независимо от изменения размеров, освещенности, положению и потере или искажения значительной части этого образа, представляется целесообразным (учитывая наличие современных средств «цифровой» записи и визуализации радио-, а также аудио-сигналов) использовать помимо автоматического и слухового, также визуальный прием информации.

Таким образом, для формирования передаваемого дискретного сообщения с целью эффективного визуального различения двоичных элементов с использованием структуры ЛЧМ-сигнала S_B можно сопоставить графическому отображению « / » значение «1» (изменение частоты сигнала от f_{\min} до f_{\max}), а графическому отображению « \ » – «0» (изменение частоты сигнала от f_{\max} до f_{\min}). В качестве иллюстрации на рис. 20 представлена спектрограмма визуального приема буквы «R» в коде МТК-2.

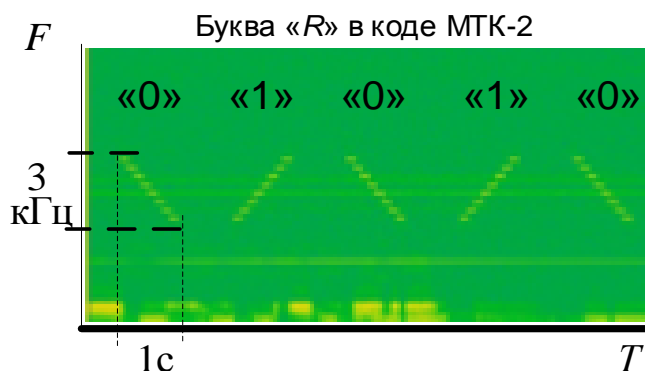


Рис. 20. Спектрограмма визуализации приема элемента сообщения (вариант)

Проверка эффективности приема сообщения с рассмотренной выше СКК была проведена с использованием имитационной модели гидроакустического канала. Результаты обеспечения вероятности безошибочного приема команды из 20 знаков в условиях помех приведены в табл. 2.

Таблица 2 – Вероятность безошибочного приема команды из 20 знаков, в условиях помех

Вид помехи	Узкополосный сигнал			СКК на базе S_B	
	Слуховой прием	Визуальный прием	Автоматический прием	Визуальный прием	Автоматический прием
Сосредоточенная	0,74	0,87	0,64	1,0	0,86
Широкополосная	0,85	0,93	0,81	0,99	0,71

Изменение параметров широкополосных (ЛЧМ) сигналов для автоматического приема «под шумами» ограничено из-за наличия максимального временного интервала когерентности сигнала в реальном гидроакустическом канале. По результатам исследования, проведенного в [42], указанный интервал не превышает 4 секунд. Одним из вариантов приема узкополосного сигнала является модем с реализацией алгоритма автоматической адаптивной перестройки приемного фильтра для «отслеживания» изменения частоты, обусловленного эффектом Доплера. Кроме того, в следствии этого эффекта, при создании модема, обеспечивающего повышение скорости передачи за счет одновременного излучения элементов сообщений на заданном количестве псевдослучайных рабочих частот, следует учитывать необходимость формирования в блоке параллельных фильтров защитного интервала между соседними частотами.

На рис. 21 представлен вариант структуры построения гидроакустического модема для морского объекта с реализацией многоканального приема и пространственной обработкой гидроакустического сигнала с возможностью автоматического (для АНПА и РТК) и визуального (для ПЛ и других обслуживаемых морских объектов) приема, инвариантного к эффекту Доплера.

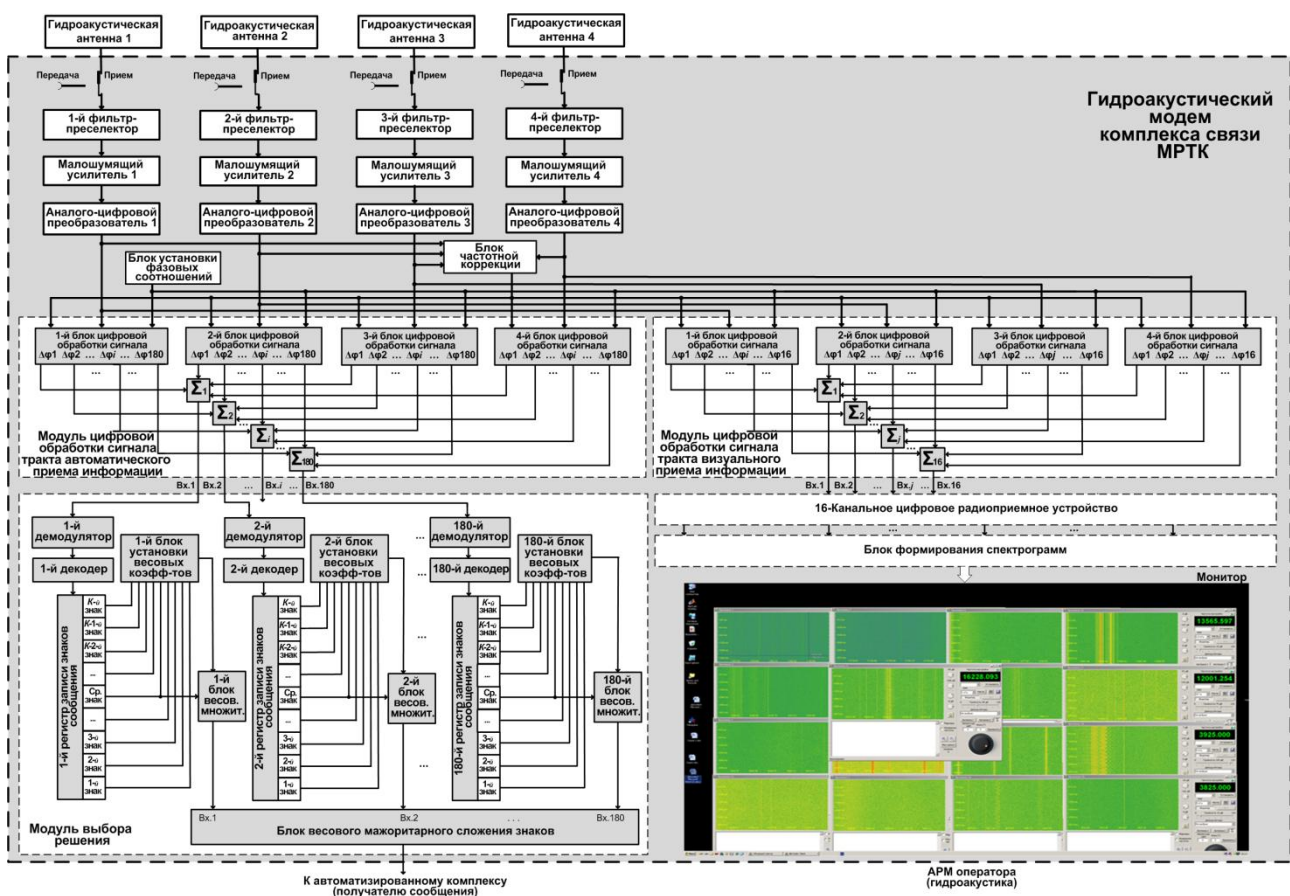


Рис. 21. Вариант структуры построения гидроакустического модема

Заключение

1. Для обеспечения устойчивого доведения информации до надводных объектов, находящихся в морской Арктической и Приполярной зонах целесообразно осуществлять параллельную передачу по декаметровому и метеорному каналам связи.

2. Для подводных трасс протяженностью свыше 100 км с целью достижения устойчивой связи в направлении «НПУ – МРТК» необходимо использовать гидроакустические излучатели с мощностью более 1 кВт при частотной полосе передаваемого сигнала менее 0,5 Гц.

3. При повышенных требованиях к скрытности и дальности связи сигналов управления целесообразно использовать «цепочку» АНПА-ретрансляторов с пониженной мощностью излучения и с реализацией элементов искусственного интеллекта.

4. Уровень теоретических и экспериментальных исследований в России, а также прогресс в создании элементов программно-аппаратных комплексов радио- и гидроакустической связи позволяет обеспечить доведение информации до морских объектов, находящихся на значительных удалениях от пунктов управления.

Литература

1. Мясников О.Г., Мирошников В.И., Безяев В.И. Краткая история создания и научно-технической деятельности ОАО «Интелтех» (НИИ ЭТУ) // Телекоммуникационные технологии. Вып. №1. 2003. С. 3-12.

2. Белькович О.И. Статистическая теория метеоров. Дисс. на соиск. уч. ст. доктора физ.-мат. наук. Казань. 1986. 301 с.

3. Белькович О.И. Статистическая теория радиолокации метеоров. – Казань: Изд-во КГУ. 1971. 103 с.

4. Николашин Ю.Л., Будко П.А., Жуков Г.А. Основные направления модернизации декаметровой системы связи // Техника средств связи. 2019. № 1 (145). С. 13-25.

5. Будко П.А., Жолдасова А.Е., Жолдасов Е.С., Жуков Г.А. и др. Модель тракта доведения информации до объекта по симплексной радиолинии. Патент на полезную модель РФ № 155245 от 02.09.2015.

6. Официальный сайт АО «ОНИИП» [Электронный ресурс]. <http://www.oniip.ru/produkcia>.

7. Официальный сайт РИМР [Электронный ресурс]. <http://rimr.ru/oborudovanie>.

8. Николашин Ю.Л., Мирошников В.И., Будко П.А., Жуков Г.А. Территориально-разнесенный прием информации от глобально-перемещающихся объектов морского базирования // Морская радиоэлектроника. 2017. № 4. С. 18–23.

9. Официальный сайт СОНИИР [Электронный ресурс]. <http://soniir.ru>.

10. Титков С.Б. Технические предложения по использованию метеорной связи // Защита информации. №3. 2006.

11. Аппаратура метеорной связи. [Электронный ресурс]. niineptun.ru/production/oborudovanie-meteo-svyaz.

12. Шевелев А.Е., Завьялов С.В. Реализация модема для метеорной радиосвязи на основе SDR платформы HackRF One // Неделя науки СПбГПУ: материалы Международной научно-технической конференции. Институт физики, нанотехнологий и телекоммуникаций. 2016. С. 79-82.

13. Николашин Ю.Л., Кулешов И.А., Будко П.А., Жолдасов Е.С., Жуков Г.А. SDR радиоустройства и когнитивная радиосвязь в декаметровом диапазоне частот // Научно-технические исследования в космических исследованиях Земли. 2015. №1. С. 20-31.

14. Метеорная связь на ультракоротких волнах. Сб. ст. под ред. А.Н. Казанцева. – М.: Изд. иностр. литературы. 1961. 287 с.

15. Карпов А.В., Сидоров В.В., Сулимов А.И. Метеорная генерация секретных ключей шифрования для защиты открытых каналов связи // Информационные технологии и вычислительные системы. №3. 2008. С. 45-54.

16. Метеорное распространение радиоволн. Зеленодольский филиал КГУ. Физико-математический факультет. – Зеленодольск: КГУ, 2008.

17. Бабаджанов П.Б. Метеоры и их наблюдения. – М.: Радио и связь, 1987.

18. Кащеев Б.Л., Лебединец В.Н. Радиолокационные исследования метеорных явлений. М.: Связь, 1961.
19. Спектрограммы. Электронный ресурс «Российский УКВ-портал». В. Париков, RV6YY. Август 2010.
20. Arthur G., Donald S. Meteor burst telemetry in hydrologic data acquisition. Remote Data Transmission (Proceedings of the Vancouver Workshop, August 1987). LAHS Publ. № 178, 1989.
21. Асирин Т., Карпов А.В., Кодиров А.И. и др. Результаты экспериментального исследования условий распространения радиоволн на коротких метеорных радиотрассах в условиях горной местности среднеазиатского региона // Изв. АН Таджикской ССР. №1 (99). 1986.
22. Справочник по радиоэлектронным системам / Под ред. Б.Х. Кривицкого. Том. 1. – М.: Энергия, 1979.
23. <http://www.imo.net/radio/reflection>.
24. Chan C.A., Cheng D.K. Optimum Element Lengths for Yagi-Uda Arrays. IEEE. Trans AP, January 1975, pp. 8-14.
25. Ратхаммель К. Энциклопедия антенн. – М.: ДМК «Пресс», 2011. 812 с.
26. Радишум. Рекомендация МСЭ-R P.372-10 (10/2009). Сер. Р. Распространение радиоволн. Электронный ресурс. ITU. Женева. 2010.
27. Финк Л.М. Теория передачи дискретной информации. – М.: Сов. Радио, 1970. – 728 с.
28. Miller S.L., Milstein L.B. A Comparison of Protocols for a Meteor-burst Channel Based on a Time-Varying Channel Model. IEEE Transactions on communications. Vol. 37. №1. January 1989. pp. 18-30.
29. Волвенко С.В., Макаров С.Б., Завьялов С.В., Хачаянц М.Б. Выбор пороговых отношений сигнал/шум при приеме сигналов в метеорном канале связи с использованием полудуплексного протокола с повторной передачей по запросу // Радиотехника. №12. 2016. С. 83-93.
30. Иванченко Ю.С., Орлова Л.Г. Способ увеличения скорости передачи данных в пакетной сети метеорной связи. Патент РФ №2461125. Опубл. 10.09.12.
31. RocKwell International Corp. Meteor scatter burst communication system. Patent US №4277845. 1981.
32. Mui S.Y. A Comparison of Fixed and Variable-Rate Signaling for Meteor Burst Communications. IEEE Transactions on communications. Vol 42. №2/3/4. February/March/April 1994. pp. 211-216.
33. Асирин Т., Карпов А.В., Кодиров А.И. и др. Боковое распространение радиоволн на коротких метеорных радиотрассах // Изв. ВУЗов. 1986. Т. 32. С. 9-12.
34. Белькович О.И., Сидоров В.В., Филимонова Т.К. Вычисление распределения метеорных радиантов по наблюдениям на одной радиолокационной станции с угломером // Астрономический Вестник. №2. Т. 25. 1991.
35. Долуханов М.П. Распространение радиоволн. – М.: Связь, 1972. 336 с.
36. Каплун Д.И., Клионский Д.М., Олейник А.Л., Вознесенский А.С., Жукова Н.А., Гульванский В.В., Петровский А.А. Применение полифазных банков фильтров в задачах мониторинга широкого частотного диапазона // Изв. Вузов России. Радиоэлектроника. Вып. №3. 2013. С. 38-43.
37. Мирошников В.И., Будко П.А., Жуков Г.А. Компенсаторы помех для ППРЧ радиолоний декаметрового диапазона волн // Техника средств связи. 2019. №2 (146). С. 8-20.
38. Белоусов И. Современные и перспективные необитаемые подводные аппараты ВМС США // Зарубежное военное обозрение. №5. 2013. С. 79-88.
39. Брага Ю.А., Машошин А.И. Место сетевой подводной системы обмена данными в интегрированной сетевентрической системе подводного наблюдения. / Доклады: Гидроакустика. 2013. Материалы конференции «Гидроакустическая связь и гидроакустические средства аварийно-спасательного назначения». – Волгоград. ОАО «НИИ гидросвязи «Штиль». 2013.
40. Козлов Н.С., Микушин И.И., Паршуков В.Н. Направления развития средств обмена данными по гидроакустическому каналу в интересах включения подвижных погруженных объектов в единое информационное пространство. Материалы конференции «Гидроакустическая связь и гидроакустические средства аварийно-спасательного назначения». – Волгоград. ОАО «НИИ гидросвязи «Штиль». 2013.
41. Свердлин Г.М. Прикладная гидроакустика: Учеб. пособ. – Л.: Судостроение, 1990. – 320 с.

42. Макаров А.И., Дворников В.Д., Конопелько В.К. Передача информации в гидроакустическом канале. / Доклады Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники. – Минск: БГУИР, 2004. – С. 103-118.
43. Урик Р.Дж. Основы гидроакустики. – Л.: Судостроение, 1978. – 448 с.
44. Евтюков А.П., Митько В.Б. Инженерные расчеты в гидроакустике. – Л.: Судостроение, 1988. – 288 с.

References

1. Mjasnikov O.G., Miroshnikov V.I., Bezjaev V.I. Kratkaja istorija sozdanija i nauchno-tehnicheskaj dejatel'nosti OAO «Intelteh» (NII JeTU) [Short history of creation and scientific and technical activity of JSC Inteltek (SRI ETU)]. Telekommunikacionnye tehnologii [Telecommunication technologies]. №1. 2003. P. 3-12. (In Russian).
2. Bel'kovich O.I. Statisticheskaja teorija meteorov. Diss. na soisk. uch. st. dokt. fiz.-mat. nauk [Statistical theory of meteors. Dr. physical-a mat. sci. diss.]. Kazan'. 1986. 301 p. (In Russian)
3. Bel'kovich O.I. Statisticheskaja teorija radiolokacii meteorov [Statistical theory of radar-location meteors]. – Kazan': Publ. house KGU. 1971. 103 p. (In Russian).
4. Nikolashin Yu. L., Budko P.A., Zhukov G.A. Osnovnyye napravleniya modernizatsii dekametrovoy sistemy svyazi [The Main directions of modernization of the decameter communication system]. Tehnika sredstv svyazi [Communication Equipment]. № 1 (145). 2019. P. 13-25. (In Russian).
5. Budko P.A., Zholdasova A.E., Zholdasov E.S., Zhukov G.A. and others. Model' trakta dovedeniya informatsii do ob'yekta po simpleksnoj radiolinii [A Model tract of communicating information to the subject via a simplex radio link]. Patent na poleznyju model' RF [The patent for useful model RU] № 155245 from 02.09.2015. (In Russian).
6. Official site of JSC "ONIIP" [Electronic resource]. <http://www.oniip.ru/produkcija>. (In Russian).
7. Official site RIMP [Electronic resource]. <http://rimr.ru/oborudovanie>. (In Russian).
8. Nikolashin Yu. L., Miroshnikov V. I., Budko P. A., Zhukov G. A. Territorial'no-raznesennyj prijem informatsii ot global'no-peresemechayushikhsya ob'yektov morskogo bazirovaniya [Geographically dispersed reception of information from globally moving sea-based objects]. Morskaya radioelektronika [Marine radio electronics]. № 4, 2017. P. 18-23. (In Russian).
9. Official site SONIER [Electronic resource]. <http://soniir.ru>. (In Russian).
10. Titkov S.B. Tehnicheskie predlozhenija po ispol'zovaniju meteornoj svyazi [Technical offers on use of meteoric communication]. Zashhita informacii [Information security]. №3. 2006. (In Russian).
11. Apparatura meteornoj svyazi. Jelektronnyj resurs [Equipment of meteoric communication. [Electronic resource]. niineptun.ru > production/oborudovanie-meteo-svyaz. (In Russian).
12. Shevelev A.E., Zav'jalov S.V. Realizacija modema dlja meteornoj radiosvyazi na osnove SDR platformy HackRF One [Realization of the modem for a meteoric radio communication on the basis of SDR HackRF One platform]. Nedelja nauki SPbGPU: materialy Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskaj konferencii. Institut fiziki, nanotehnologij i telekommunikacij [Week of science SPbGPU: materials of the International scientific and technical conference. Institute of physics, nanotechnologies and telecommunications]. 2016. P. 79-82. (In Russian).
13. Nikolashin Y.L., Kuleshov I.A., Budko P.A., Zholdasov E.S., Zhukov G.A. SDR radioustrojstva i kognitivnaja radiosvjaz' v dekametrovom diapazone chastot [SDR radio devices and a cognitive radio communication in decameter frequency range]. Naukoemkie tehnologii v kosmicheskikh issledovanijah Zemli [High technologies in space researches of Earth]. №1. 2015. P. 20-31. (In Russian).
14. Meteor'naja svjaz' na ul'trakorotkih volnah. Sb. st. pod red. A.N. Kazanceva [Meteoric communication on very high frequency. The article coll. under the editorship of A.N. Kazantsev]. Moscow. Izdat. inostrann. literat. [Prod. foreign literature]. 1961. 287 p. (In Russian).
15. Karpov A.V., Sidorov V.V., Sulimov A.I. Meteor'naja generacija sekretnyh kljucej shifrovaniya dlja zashhity otkrytyh kanalov svyazi [Meteoric generation of enciphering confidential keys for open channels of communication protection]. Informacionnye tehnologii i vychislitel'nye sistemy [Information technologies and computing systems]. №3. 2008. P. 45-54. (In Russian).
16. Meteor'noe rasprostranenie radiovoln. [Meteoric distribution of radio waves]. Zelenodol'skij filial KGU. Fiziko-matematicheskij fakul'tet. [KGU Zelenodolsk branch. Physical and mathematical faculty]. Zelenodolsk: KGU, 2008. (In Russian).

17. Babadzhanov P.B. Meteory i ih nabljudenija [Meteors and their observations]. Moscow. 1987. (In Russian).
18. Kashheev B.L., Lebedinec V.N. Radiolokacionnye issledovanija meteornyh javlenij [Radar researches of the meteoric phenomena]. №7. Moscow. 1961. (In Russian).
19. Spektrogrammy. Jelektronnyj resurs «Rossijskij UKV-portal» [Spectrograms. Electronic resource "Russian VHF Portal"]. V. Parikov, RV6YY. August 2010. (In Russian).
20. Arthur G., Donald S. Meteor burst telemetry in hydrologic data acquisition. Remote Data Transmission (Proceedings of the Vancouver Workshop, August 1987). LAHS Publ. № 178, 1989.
21. Asirin T., Karpov A.V., Kodirov A.I. i dr. Rezul'taty jeksperimental'nogo issledovanija uslovij rasprostraneniya radiovoln na korotkih meteornyh radiotrassah v uslovijah gornoj mestnosti sredneaziatskogo regiona [Results of conditions pilot study of radio waves distribution on short meteoric radio routes in the mountain area conditions of the Central Asian region]. Izvestija AN Tadzhijskoj SSR [News of AN of the Tajik SSR]. №1 (99). 1986. (In Russian).
22. Spravochnik po radiojelektronnym sistemam. Pod red. B.H. Krivitskogo [The reference book on radio-electronic systems / under the editorship of B.H. Krivitsky]. V. 1. – Moscow.: Energy, 1979. (In Russian).
23. [Jelektronnyj resurs] <http://www.imo.net/radio/reflection>. (In Russian).
24. Chan C.A., D.K. Cheng, Optimum Element Lengths for Yagi-Uda Arrays. IEEE. Trans AP, January 1975, pp. 8-14.
25. Ratkhammel' K. Jenciklopedija antenn [Encyclopedia of antennas]. Moscow. DMK «Press», 2011. 812 p. (In Russian).
26. Radioshum. Rekomendacija [Radio noise. Recommendation]. MSE-R P.372-10 (10/2009). S. P. Rasprostranenie radiovoln. Jelektronnyj resurs [Distribution of radio waves. Electronic resource]. ITU. Geneva. 2010. (In Russian).
27. Fink L.M. Teorija peredachi diskretnoj informacii [Theory of discrete information transfer]. Moscow. Sov. radio, 1970. 728 p. (In Russian).
28. Miller S. L., Milstein L. B. A Comparison of Protocols for a Meteor-burst Channel Based on a Time-Varying Channel Model. IEEE Transactions on communications. Vol. 37. No. 1. January 1989. pp. 18-30.
29. Volvenko S.V., Makarov S.B., Zav'jalov S.V., Hachajanc M.B. Vybory porogovyh otnoshenij signal/shum pri prieme signalov v meteornom kanale svjazi s ispol'zovaniem poludupleksnogo protokola s povtornoju peredacheju po zaprosu [The choice of the threshold relations signal/noise at signals reception in a meteoric communication channel with use of the half-duplex protocol with repeated transfer on demand]. Radio engineering. №12. 2016. P. 83-93. (In Russian).
30. Ivanchenko Ju.S., Orlova L.G. Sposob uvelichenija skorosti peredachi dannyh v paketnoj seti meteornoj svjazi [A way of data transmission speed increase in package network of meteoric communication]. Patent RU №2461125. Publ. 10.09.12. (In Russian).
31. Rockwell International Corp. Meteor scatter burst communication system. Patent US No. 4277845. 1981.
32. Mui S.Y. A Comparison of Fixed and Variable-Rate Signaling for Meteor Burst Communications. IEEE Transactions on communications. Vol 42. No. 2/3/4. February/March/April 1994. pp. 211-216.
33. Asirin T., Karpov A.V., Kodirov A.I., etc. Bokovoe rasprostranenie radiovoln na korotkih meteornyh radiotrassah [Side distribution of radio waves on short meteoric radio routes]. News of. V. 32. P. 912. (In Russian).
34. Bel'kovich O.I., Sidorov V.V., Filimonova T.K. Vychislenie raspredelenija meteornyh radiantov po nabljudenijam na odnoj radiolokacionnoj stancii s uglomerom [Calculation of meteoric radiant distribution on observations at one radar station with a goniometer]. // Astronomical Messenger. №2. V. 25. 1991. (In Russian).
35. Doluhanov M.P. Rasprostranenie radiovoln [Distribution of radio waves]. Moscow. Communication, 1972. 336 p. (In Russian).
36. Kaplun D.I., Klionskij D.M., Olejnik A.L., Voznesenskij A.S., Zhukova N.A., Gul'vanskij V.V., Petrovskij A.A. Primenenie polifaznyh bankov fil'trov v zadachah monitoringa shirokogo chastotnogo diapazona [Application of polyphase banks filters in monitoring problems of wide frequency range]. Izv. Vuzov Rossii. Radioelektronika [News of RU HEI. Radio electronics]. №3. 2013. P. 38-43. (In Russian).

37. Miroshnikov V.I., Budko P.A., Zhukov G.A. Kompensatory pomeh dlja PPRCh radiolinij dekametrovogo diapazona voln [Hindrances compensators for PPRCh of decameter wave band radio lines]. Communication Equipment. №2 (146). 2019. P. 8-20. (In Russian).
38. Belousov I. Sovremennyye i perspektivnyye bespilotnyye podvodnyye apparaty VMS SSHA [Modern and promising unmanned underwater vehicles of the US Navy]. Foreign military review. № 5. 2013. P. 79-88. (In Russian).
39. Braga Y.A., Mashoshin A.I. Mesto setevoji podvodnoji sistemyi obmena dannyimi v integrirovannoyi setecentricheskoji sisteme podvodnogo nablyudenija [Place a network of underwater communication systems integrated network-centric system for underwater monitoring]. Presentations: Hydroacoustics. 2013. Materials of the conference "Hydroacoustic communication and hydroacoustic means of emergency purpose". Volgograd. JSC "research Institute of hydraulic "Calm" 2013. (In Russian).
40. Kozlov N.S., Mikushin I.I., Parshukov V.N. Napravleniya razvitiya sredstv obmena dannyimi na gidroakusticheskom kanale dlya vklyucheniya podvizhnykh podvodnykh ob"yektov v yedinoe informatsionnoye prostranstvo [Directions of development of means of data exchange on the hydroacoustic channel for the inclusion of mobile submerged objects in a single information space]. Presentations: Hydroacoustics. 2013. Materials of the conference "Hydroacoustic communication and hydroacoustic means of emergency purpose". Volgograd. JSC "research Institute of hydraulic "Calm" 2013. (In Russian).
41. Sverdlin G.M. Prikladnaya gidroakustika [Applied hydroacoustics]: Studies. benefit. Leningrad. Shipbuilding. 1990. 320 p. (In Russian).
42. Makarov A.I., Dvornikov V.D., Konopelko V.K. Peredacha informatsii v gidroakusticheskom kanale [Transmission of information in the hydroacoustic channel]. Doklady Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta informatiki i radioelektroniki [Reports of the Belarusian state University of Informatics and Radioelectronics]. Minsk. BSUIR. 2004. P. 103-118. (In Russian).
43. Urik R.J. Osnovy gidroakustiki [Basics of hydroacoustics]. Leningrad. Sudostroyeniye [Shipbuilding]. 1978. 448 p. (In Russian).
44. Evtyukov A.P., Mitko V.B. Inzhenernyye raschety v gidroakustike [Engineering calculations in hydroacoustics]. Leningrad. Sudostroyeniye [Shipbuilding]. 1988. 288 p. (In Russian).

Статья поступила 03 июня 2019 г.

Информация об авторах

Мирошников Валентин Иванович – Генеральный конструктор ПАО «Интелтех». Доктор технических наук, профессор. Область научных интересов: синтез информационно-телекоммуникационных систем повышенной устойчивости.

Адрес: 197342, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Кантемировская, дом 8.
Тлф.: 8(812)295-66-66. E-mail: intelteh@inteltech.ru.

Будко Павел Александрович – Ученый секретарь ПАО «Интелтех». Доктор технических наук, профессор. Область научных интересов: управление ресурсами сетей связи; многоуровневый синтез информационно-телекоммуникационных систем.

Адрес: 197342, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Кантемировская, дом 8.
Тлф.: 8(812)448-95-97; 8(911)010-92-64. E-mail: intelteh@inteltech.ru; budko62@mail.ru.

Жуков Геннадий Анатольевич – Советник генерального конструктора ПАО «Интелтех». Кандидат технических наук, доцент. Область научных интересов: повышение эффективности функционирования радиолиний различных диапазонов волн; синтез когнитивных радиосистем; морская робототехника.

Тлф.: 8(812)448-96-16; 8(921)923-21-74. E-mail: intelteh@inteltech.ru.

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

The composite path of bringing information to robotic systems in the northern seas

V.I. Miroshnikov, P.A. Budko, G.A. Zhukov

Annotation. Problem statement: the main directions for the creation of a composite path of control and communication with robotic systems in the Northern seas using decameter, meteor and hydroacoustic channels are considered. **The purpose of the work** is to increase the stability of bringing control signals to remote marine objects located in underwater or ice positions. **Methods used:** theoretical and practical groundwork in the field of decameter, meteor and hydroacoustic communication, as well as SDR-technologies for the implementation of software and hardware systems of the new generation; using the effect of reflection of radio waves from meteor tracks; application of bionic approach to the implementation of long-range hydroacoustic communication. **The novelty** consists in the proposal to build a receiving antenna-feeder subsystem of the meteor communication channel, which provides the formation of a "fan" of narrow directional diagrams; the formation and application of a new signal-code design for a hydroacoustic modem; the use of hardware and software complex based on SDR technologies. **The practical significance** lies in the fact that the composite path of bringing information allows: to increase the stability of the control channel of the underwater object in the Northern seas; to increase the range of bringing control information, which is important for work in the ice without surfacing of the robotic complex; to receive information in the conditions of complex interference conditions of hydrology of the sea and Northern latitudes; to provide additional increase in the maximum power of the received signal by $10 \div 12$ dB taking into account the implementation of variable transmission rate due to the bionic approach, visualization of the received signal and the use of multidigraph phased array antenna.

Key words: compound channel; decameter the communication channel hydroacoustic communication channel; meteor communication channel; meteor trail; directional diagram.

Information about Author(s)

Miroshnikov Valentin Ivanovich – Chief Designer of PJSC «Information Telecommunication Technologies». Doctor of Technical Sciences, professor. Phone: 8(812)295-66-66. E-mail: intelteh@inteltech.ru.

Budko Pavel Aleksandrovich – Scientific Secretary of PJSC «Information Telecommunication Technologies». Doctor of Technical Sciences, professor. Phone: 8(812)448-95-97; 8(911)010-92-64. E-mail: intelteh@inteltech.ru; budko62@mail.ru.

Zhukov Gennadiy Anatol'evich – Chief Designer Adviser of PJSC «Information Telecommunication Technologies». Doctorate of Technical Sciences, associate professor. Phone: 8(812)448-96-16; 8(921)923-21-74. E-mail: intelteh@inteltech.ru
Address: 197342, Russia, Saint-Petersburg, Kantemirovskaya, 8.

Для цитирования: Мирошников В.И., Будко П.А., Жуков Г.А. Составной тракт доведения информации до робототехнических комплексов в северных морях // Техника средств связи. 2019. № 3 (147). С. 2-26.

For citation: Miroshnikov V.I., Budko P.A., Zhukov G.A. The composite path of bringing information to robotic systems in the northern seas // Means of communication equipment. 2019. No 3 (147). P. 2-26. (In Russian).

УДК 004.713

Оценка необходимой полосы пропускания для обеспечения требуемого качества обслуживания видеотрафика в устройствах пакетной коммутации

Одоевский С.М., Салюк Д.В., Бусыгин А.В.

***Аннотация.** Одной из проблем количественного обоснования минимально необходимой полосы пропускания для мультисервисного потока с преобладающим видеотрафиком является сложность достаточно точного предсказания влияния показателей качества обслуживания пакетов на качество субъективного восприятия видеоизображения. Одним из популярных субъективных методов оценки качества непрерывного видеоизображения является экспертная оценка по пятибалльной шкале SSCQE (Single Stimulus Continuous Quality Evaluation). В то же время, существуют и объективные методы оценки качества видеосвязи, которые позволяют считать это качество приемлемым, если будут выполнены определенные требования к средней задержке пакетов, вариации задержек, потерям и искажениям пакетов. В современных пакетных специализированных инфокоммуникационных сетях связи используются физические каналы с достаточно высокой достоверностью, поэтому влияние пропускной способности на искажения пакетов можно не рассматривать. Остальные три показателя качества существенно зависят от полосы пропускания (пропускной способности) и от интенсивности входного трафика. В то же время, данные три показателя в зависимости от их соотношения, которое обычно называется нагрузкой, меняются монотонно, что позволяет любой из них выделить в качестве основного, а остальные оценивать опосредованно. В качестве основного показателя качества обслуживания наиболее удобно в вычислительном смысле использовать среднюю задержку пакетов. При оценке качества обслуживания трафика в отдельном устройстве коммутации данная задержка является суммой среднего времени ожидания и среднего времени обслуживания. В статье рассматривается подход к оценке необходимой полосы пропускания для обеспечения требуемого качества обслуживания видеотрафика, обладающего свойством самоподобия, в устройствах пакетной коммутации специализированных инфокоммуникационных сетей с учетом контролируемой степени самоподобия данного трафика.*

***Ключевые слова:** специализированные инфокоммуникационные сети, полоса пропускания, видеотрафик, мультисервисный трафик, устройства пакетной коммутации, показатели качества обслуживания пакетов, средняя задержка пакетов.*

В современных специализированных инфокоммуникационных сетях (СИКС) наиболее требовательным к полосе пропускания является видеотрафик, который составляет значительную часть общего мультисервисного трафика, обслуживаемого в устройствах пакетной коммутации. Одной из проблем количественного обоснования минимально необходимой полосы пропускания для мультисервисного потока с преобладающим видеотрафиком является сложность достаточно точного предсказания влияния показателей качества обслуживания пакетов на качество субъективного восприятия видеоизображения [1]. Одним из популярных субъективных методов оценки качества непрерывного видеоизображения является экспертная оценка по пятибалльной шкале SSCQE (Single Stimulus Continuous Quality Evaluation) [2]. В то же время, существуют и объективные методы оценки качества видеосвязи, которые позволяют считать это качество приемлемым, если будут выполнены определенные требования к средней задержке пакетов τ , вариации задержек σ , потерям $p_{\text{пот}}$ и искажениям пакетов $p_{\text{ош}}$ [3].

В современных пакетных СИКС связи используются физические каналы с достаточно высокой достоверностью, поэтому влияние пропускной способности на искажения пакетов $p_{\text{ош}}$ можно не рассматривать. Остальные три показателя качества τ , σ и $p_{\text{пот}}$ существенно зависят от полосы пропускания (пропускной способности) μ и от интенсивности входного

трафика λ . В то же время, данные три показателя в зависимости от соотношения $\lambda/\mu = \rho$, которое обычно называется нагрузкой, меняются монотонно, что позволяет любой из них выделить в качестве основного, а остальные оценивать опосредованно.

Как показано в [4], в качестве такого основного показателя качества обслуживания наиболее удобно в вычислительном смысле использовать среднюю задержку пакетов τ . При оценке качества обслуживания трафика в отдельном устройстве коммутации данная задержка является суммой среднего времени ожидания $\tau_{ож}$ и среднего времени обслуживания $\tau_{об}$ (передачи). При этом оба слагаемых задержки зависят от полосы пропускания μ . Время обслуживания $\tau_{об}$ является обратной величиной данной полосы $\tau_{об} = 1/\mu$, а время ожидания $\tau_{ож}$ связано с μ более сложным образом в зависимости от статистических характеристик входного потока, распределения времени обслуживания и дисциплины обслуживания очереди в устройстве коммутации.

В общем случае, время передачи (обслуживания) может иметь произвольное распределение, в том числе, «с длинным хвостом», характерным для самоподобных случайных процессов. Однако на практике, в связи с подведомственной (внутрисистемной) ролью данного показателя в конкретной мультисервисной сети, которая может им управлять или, по крайней мере, достаточно точно его прогнозировать, в большинстве математических моделей даже с самоподобным входным трафиком допускается время обслуживания считать детерминированным ($D - Deterministic$) или распределенным по экспоненциальному (характерному для пуассоновского или марковского случайного процесса) закону ($M - Markovian$).

Другая составная часть времени задержки – время ожидания начала обслуживания $\tau_{ож}$, с одной стороны, зависит от указанного выше времени обслуживания $\tau_{об}$ (обратно пропорционального полосе пропускания μ), а с другой стороны, непосредственно связана с характеристиками входного потока пакетов, а, следовательно, в первую очередь «ощущает на себе» влияние нестационарности трафика и всех проявлений его свойства самоподобия.

Как уже отмечалось выше, видеотрафик для большинства видов сервисов является самоподобным. При этом показатели качества, в частности, задержки и потери, заметно изменяются с увеличением степени самоподобия в сравнении с пуассоновским трафиком. Учёт самоподобных свойств видеотрафика предоставляет возможность более точного оценивания качества воспроизведения видеопоследовательности, что в свою очередь позволяет улучшить методы оценки качества передачи видеотрафика и получить показатели качества, близкие к реально наблюдаемым. Одним из показателей, которые могли бы быть включены в объективную оценку качества видео, так называемый V -фактор, по аналогии с R -фактором для речи, является параметр Хёрста H , учитывающий степень самоподобия трафика. В [5] рассматривается возможность применения параметра Хёрста для отслеживания изменения состояния сети и, как результат, влияние значений параметра Хёрста на субъективное качество восприятия для видео.

Следовательно, параметр Хёрста H , относительно видеотрафика можно рассматривать не только как параметр самоподобия, но и как параметр качества обслуживания, для обеспечения которого требуется определенная пропускная способность.

Реальный трафик, обладающий свойствами самоподобия с определенным значением параметра Хёрста H , может быть представлен различными математическими моделями.

Одной из самых популярных моделей самоподобного трафика является модель типа fbm (от англ. *fractal brownian motion* – фрактальное броуновское движение) [6]. Для данной модели известны аналитические функциональные зависимости $\tau_{ож}(\rho, H)$ при детерминированном (D) и экспоненциальном (M) распределении времени обслуживания в одноканальных системах массового обслуживания (СМО) вида $fbm/D/1$ и $fbm/M/1$ [7, 8].

Для моделирования самоподобного трафика кроме модели fbm могут использоваться многие другие распределения с «длинными хвостами». Наиболее популярными являются

распределения Парето ($P - Pareto$) и Вейбулла ($W - Weibull$) [9, 10]. К сожалению, точные аналитические выражения для расчета зависимости $\tau_{ож}(\rho, H)$, для СМО типа $P/M/1$ или $P/D/1$, а также $W/M/1$ или $W/D/1$, т. е. при поступлении на вход устройства коммутации потоков данных, описываемых распределениями Парето (P) и Вейбулла (W), не известны, а эмпирические аналитические зависимости [7, 11] или являются слишком приближенными, или справедливы в ограниченном диапазоне значений ρ и H [12].

В качестве демонстрации предлагаемого подхода к оценке необходимой полосы пропускания для обеспечения требуемого качества обслуживания видеотрафика с учетом контролируемой степени самоподобия данного трафика рассмотрим случай, когда процесс обслуживания трафика в устройстве коммутации представляется моделью СМО $fbm/M/1$, для которой известна аналитическая зависимость $\tau_{ож}(\rho, H)$. Только пересчитаем время ожидания к суммарной задержке (ожидания и обслуживания) $\tau = \tau_{ож} + \tau_{об}$ и представим эту зависимость в нормированном виде $q = \tau/\tau_{вх}$ относительно среднего периода следования входных пакетов $\tau_{вх} = 1/\lambda$, что позволит в качестве аргумента данной зависимости $q(\rho^{-1}, H)$ рассматривать величину $\rho^{-1} = \mu/\lambda$ (обратную нагрузке ρ), прямо пропорциональную полосе пропускания μ и равную ей при $\lambda = 1$:

$$q = \frac{\left(\frac{1}{\rho^{-1}}\right)^{\frac{1}{2-2H}}}{\rho^{-1} \cdot \left(1 - \frac{1}{\rho^{-1}}\right)^{\frac{H}{1-H}}} + \frac{1}{\rho^{-1}} = \frac{\left(\frac{1}{\mu}\right)^{\frac{1}{2-2H}}}{\mu \cdot \left(1 - \frac{1}{\mu}\right)^{\frac{H}{1-H}}} + \frac{1}{\mu} \Bigg|_{\lambda=1} . \quad (1)$$

При значении параметра Хёрста $H = 0.5$ зависимость (1) превращается в известную формулу, представленную для расчета нормированной задержки в СМО $M/M/1$:

$$q = \frac{1}{\rho^{-1} \cdot -1} = \frac{1}{\mu - 1} \Bigg|_{\lambda=1} . \quad (2)$$

На рис. 1 приведены графики зависимости относительного среднего времени задержки от относительной полосы пропускания, рассчитанные по формуле (1), для обычного экспоненциального распределения входного трафика ($H = 0.5$) и для самоподобного агрегированного видеотрафика с двумя типовыми крайними значениями параметра Хёрста $H = 0.7$ и $H = 0.8$, между которыми качество видеосвязи, оцениваемое по пятибалльной шкале $SSCQE$ (ITU-R BT.500-13) меняется примерно в диапазоне оценок 2.5 ... 4 [2, 5].

Для решения обратной задачи оценки необходимой полосы пропускания при заданной допустимой задержке с учетом контролируемой степени самоподобия входного трафика H необходимо знать обратную аналитическую зависимость $\rho^{-1}(q, H)$. Однако получить такую зависимость в аналитическом виде алгебраически из (1) не представляется возможным. Подобную зависимость несложно получить только из (2), но она может служить лишь граничной оценкой снизу при $H = 0.5$:

$$\rho^{-1} = \mu \Big|_{\lambda=1} = \frac{1}{q} + 1 . \quad (3)$$

Однако данная задача достаточно просто решается численными методами или графически. На рис. 1 приведены графические построения (см. прямые пунктирные линии), позволяющие определить необходимую относительную полосу пропускания для видеотрафика с допустимой относительной задержкой $q = \tau/\tau_{вх} = 2$ при разных значениях параметра Хёрста. Как видно из данных построений, для самоподобного видеотрафика с параметром Хёрста $H = 0.8$ требуется полоса пропускания μ в два раза больше, чем интенсивность входного трафика λ , а для пуассоновского входного трафика было бы достаточно превышения полосы пропускания над интенсивностью лишь в 1.5 раза.

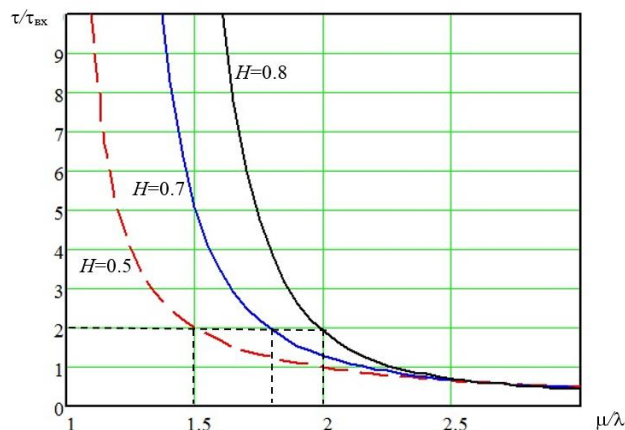


Рис. 1. Зависимости относительного среднего времени задержки от относительной полосы пропускания при разной степени самоподобия видеотрафика

Таким образом, в данной статье на конкретном примере продемонстрирован предлагаемый подход к оценке необходимой полосы пропускания для обеспечения требуемого качества обслуживания видеотрафика в устройствах пакетной коммутации СИКС с учетом контролируемой степени самоподобия данного трафика, представленного моделью фрактального броуновского движения (*fbm*). Аналогичные расчеты могут быть выполнены для других моделей самоподобного видеотрафика (например, на основе распределения Парето или Вейбулла), но для этого потребуется уточнение соответствующих математических моделей расчета.

Литература

1. Маколкина М.А. Анализ субъективных методов оценки качества IPTV // Информационные технологии моделирования и управления. 2013. № 5 (83). С. 492-500.
2. Рекомендация ITU-R BT.500-13. Методика субъективной оценки качества телевизионных изображений. 2012.
3. Recommendation ITU-T Y.1541. Network Performance Objectives for IP Based Services. Geneva, December, 2011.
4. Одоевский С.М., Хоборова В.П. Методы прогнозирования качества обслуживания самоподобного трафика в устройствах коммутации мультисервисной сети // Труды учебных заведений связи. 2017. Том 3. № 3. С. 86-92.
5. Маколкина М.А., Прокопьев А.В. Зависимость параметра Хёрста от потерь при исследовании видео трафика / М.А. Маколкина, // 69-я научно-техническая конференция СПб НТОРЭС им. А. С. Попова: сб. тез. докл. СПб., 2013.
6. Norros, I. On the use of fractional Brownian motion in the theory of connectionless networks/ I. Norros//IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 13: 953-962, 1995.
7. Назаров А.Н., Сычев К.И. Модели и методы расчета показателей качества функционирования узлового оборудования и структурно-сетевых параметров сетей связи следующего поколения. Красноярск: Изд-во ООО «Поликом», 2010. 389 с.
8. Крылов В.В., Самохвалова С.С. Теория телетрафика и ее приложения. СПб.: БХВ-Петербург, 2005. 288 с.
9. Лосев Ю.И., Руккас К.М. Анализ моделей вероятности потери пакетов в буфере маршрутизатора с учетом фрактальности трафика // Вестник ХНУРЭ. Серия «Математическое моделирование. Информационные технологии. Автоматизированные системы управления. Харьков: ХНУРЭ. 2008. № 833. С. 163-169.
10. Ложковский А.Г., Вербанов О.В. Моделирование трафика мультисервисных пакетных сетей с оценкой его коэффициента самоподобности // Научные труды ОНАС им. А.С. Попова. 2008. № 1. С. 57-62.

11. Ушанев К.В., Макаренко С.И. Показатели своевременности обслуживания трафика в системе массового обслуживания Pa/M/1 на основе аппроксимации результатов имитационного моделирования // Системы управления, связи и безопасности. 2016. № 1. С. 42-65.

12. Одоевский С.М., Бусыгин А.В., Кочешков А.К. Особенности моделирования процесса обслуживания мультимедийного трафика на основе распределения Парето // Радиолокация, навигация, связь. Сборник трудов XXV Международной научно-технической конференции, посв. 160-летию со дня рождения А.С. Попова. Воронеж, 2019. С. 295-302.

References

1. Makolkina, M.A. Analiz sub'ektivnykh metodov ocenki kachestva IPTV [Analysis of subjective valuation methods of quality of IPTV]. Information technologies of modeling and management. 2013. No. 5 (83). Pp. 492-500. (In Russian).

2. Recommendation of ITU-R BT.500-13. Rekomendacija ITU-R BT.500-13. Metodika sub'ektivnoj ocenki kachestva televizionnykh izobrazhenij [Technique of subjective appraisal of quality of television pictures]. 2012. (In Russian).

3. Recommendation ITU-T Y.1541. Network Performance Objectives for IP Based Services. Geneva, December, 2011.

4. Odoevsky S.M., Hoborova V. P. Metody prognozirovaniya kachestva obsluzhivaniya samopodobnogo trafika v ustrojstvakh kommutacii mul'tiservisnoj seti [Methods of forecasting of quality of service of self-similar traffic in switching devices of multiservice network]. Works of educational institutions of communication. 2017. Volume 3. No. 3. Pp 86-92. (In Russian).

5. Makolkina M.A., Prokopyev A.V. Zavisimost' parametra Hjorsta ot poter' pri issledovanii video trafika [Dependence of parameter of Hirst on losses at a research of video of traffic]. M.A. Makolkina. the 69th scientific and technical conference of SPb NTORES of A.S. Popov: Saturday. SPb. 2013. (In Russian).

6. Norros, I. On the use of fractional Brownian motion in the theory of connectionless networks. I. Norros // IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 13: 953-962, 1995.

7. Nazarov A.N., Sychev K.I. Modeli i metody rascheta pokazatelej kachestva funk-cionirovaniya uzlovogo oborudovaniya i strukturno-setevykh parametrov setej svjazi sle-dujushhego pokolenija [Models and methods of calculation of figures of merit of functioning of the nodal equipment and structural and network parameters of communication networks of the next generation]. Krasnoyarsk: LLC Polikom publishing house. 2010. 389 p. (In Russian).

8. Krylov V.V., Samokhvalova S.S. Teorija teletrafika i ee prilozhenija [Teletraffic theory and its applications]. SPb.: BHV-St. Petersburg, 2005. 288 p. (In Russian).

9. Losev Yu. I., Rukkas K. M. Analiz modelej verojatnosti poteri paketov v bufere marshrutizatora s uchedom fraktal'nosti trafika [The analysis of models of probability of loss of packets in the router buffer taking into account fractality of traffic]. The HNURE Bulletin. Series "Mathematical modeling. Information technologies. Automated systems of management. Kharkiv: HNURE. 2008. No. 833. Pp. 163-169. (In Russian).

10. Lozhkovsky A.G., Verbanov O.V. Modelirovanie trafika mul'tiservisnykh pa-ketnykh setej s ocenкой koeficienta samopodobnosti [Modeling of traffic of multiservice packet networks with assessment of its coefficient of self-similitude]. Scientific works of ONAS of A.S. Popov. 2008. No. 1. Pp. 57-62. (In Russian).

11. Ushanev K. V., Makarenko S.I. Pokazateli svoevremennosti obsluzhivaniya tra-fika v sisteme massovogo obsluzhivaniya Pa/M/1 na osnove approksimacii rezul'tatov imi-tacionnogo modelirovaniya [Indicators of timeliness of service of traffic in Pa/M/1 queuing system on the basis of approximation of results of simulation modeling]. Management systems, communications and safety. 2016. No. 1. Pp. 42-65. (In Russian).

12. Odoevsky S.M., Busygin A.V., Kocheshkov A.K. Osobennosti modelirovaniya processa obsluzhivaniya mul'timedijnogo trafika na osnove raspredelenija Pareto [Features of modeling of process of service of multimedia traffic on the basis of Pareto's distribution]. The Radar-location, navigation, communication. The collection of works XXV of the International scientific and technical conference devoted to the 160 anniversary since the birth of A.S. Popov. Voronezh, 2019. Pp. 295-302. (In Russian).

Assessment of necessary bandwidth for ensuring required quality of service of video traffic in devices of package switching

S.M. Odoevsky, D.V. Salyuk, A.V. Busygin

Annotation. One of problems of quantitative justification of minimum necessary bandwidth for a multiservice flow with the prevailing video traffic is the complexity of rather exact prediction of influence of figures of merit of service of packets on quality of subjective perception of the video image. One of popular subjective valuation methods of quality of the continuous video image is expert assessment on a five-point scale of SSCQE (Single Stimulus Continuous Quality Evaluation). At the same time there are also objective valuation methods of quality of video conference which allow to consider this quality acceptable if certain requirements to average delay of packets, variations of delays, to losses and distortions of packets are fulfilled. In modern package specialized infocommunication communication networks physical channels with rather high reliability therefore influence of throughput on distortions of packets can be not considered are used. Other three figures of merit significantly depend on the bandwidth (throughput) and on intensity of entrance traffic. At the same time these three indicators depending on their ratio which usually is called loading change monotonously that allows any of them to select as the basic, and to evaluate the others indirectly. As a key indicator of quality of service it is the most convenient to use average delay of packets in computing sense. At assessment of quality of service of traffic in the separate switching device this delay is the sum of average time of waiting and average time of service. In article approach to assessment of necessary bandwidth for ensuring required quality of service of the video traffic having property of self-similarity in devices of package switching of specialized infocommunication networks taking into account controlled degree of self-similarity of this traffic is considered.

Keywords: specialized infocommunication networks, bandwidth, video traffic, multiservice traffic, devices of package switching, figures of merit of service of packets, average delay of packets.

Статья поступила 10 июня 2019 г.

Информация об авторах

Одоевский Сергей Михайлович – Профессор кафедры Военной академии связи. Доктор технических наук. Тел.: +7 921 319 85 78. E-mail: odse2017@mail.ru. Адрес: 194064, Россия, г. Санкт-Петербург, Тихорецкий проспект, д. 3.

Салюк Дмитрий Владиславович – Заместитель начальника отдела ПАО «Интелтех». Кандидат технических наук, доцент. Тел.: +7 921 794 10 64. E-mail: salukdv@rambler.ru. Адрес: 197342, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Кантемировская, д. 8.

Бусыгин Александр Васильевич – Адъюнкт Военной академии связи. Тел.: +7 921 319 85 78. E-mail: televizor341@mail.ru. Адрес: 194064, Россия, г. Санкт-Петербург, Тихорецкий проспект, д. 3.

Information about Authors

Odoevsky Sergey Mikhaylovich – Professor of department of Military academy of communication. Doctor of Engineering. Ph.: +79213198578. E-mail: odse2017@mail.ru. Address: 194064, Russia, St. Petersburg, Tikhoretsky Avenue, 3.

Salyuk Dmitry Vladislavovich – The deputy chief of department of PJSC «Inteltech». Candidate of Technical Sciences, associate professor. Ph.: +79217941064. E-mail: salukdv@rambler.ru. Address: 197342, Russia, St. Petersburg, Kantemirovskaya St., 8.

Busygin Alexander Vasilyevich – Graduated in a military academy of Military academy of communication. Ph.: +79213198578. E-mail: televizor341@mail.ru. Address: 194064, Russia, St. Petersburg, Tikhoretsky Avenue, 3.

Для цитирования: Одоевский С.М., Салюк Д.В., Бусыгин А.В. Оценка необходимой полосы пропускания для обеспечения требуемого качества обслуживания видеотрафика в устройствах пакетной коммутации // Техника средств связи. 2019. № 3 (147). С. 27-32.

For citation: Odoevsky S.M., Salyuk D.V., Busygin A.V. Assessment of necessary bandwidth for ensuring required quality of service of video traffic in devices of package switching // Means of communication equipment. 2019. No 3 (147). P. 27-32. (In Russian).

УДК 004.75

Маршрутизация в стационарной радиосети декаметровый радиосвязи

Молокович И.А.

Аннотация. Постановка задачи: рассмотрены проблемы, связанные с маршрутизацией в беспроводных сетях и подходы к выбору протокола маршрутизации. **Целью работы** является повышение эффективности маршрутизации в радиосети за счет уменьшения задержки выбора маршрута при использовании процедуры обслуживания маршрута. **Используемые методы:** имитационное моделирование с помощью программного симулятора телекоммуникационных сетей Network Simulator (NS-2). **Новизна** состоит в том, что для радиосети сложной структуры, имеющей стационарную и мобильные компоненты, предлагается использовать гибридный протокол маршрутизации, состоящий из трех протоколов. Для стационарной части радиосети – проактивный протокол маршрутизации, для мобильных сетей доступа – активный протокол маршрутизации, и протокол маршрутизации между мобильными радиосетями для формирования полного маршрута от источника до получателя. **Результат** заключается в том, что предложен вариант гибридного протокола маршрутизации в радиосети, имеющей стационарную и мобильные компоненты. Для повышения эффективности маршрутизации используется процедура обслуживания маршрута. При изменении топологии сети, например, в результате недоступности следующего узла в маршруте, выбирается альтернативный маршрут из таблицы маршрутов проактивного протокола или кэша маршрутизатора, поддерживающего реактивный протокол. При отсутствии альтернативного маршрута запускается процедура обнаружения маршрута. Обслуживание маршрута позволяет уменьшить частоту запуска процедуры обнаружения маршрута и, таким образом, уменьшить задержку выбора маршрута. **Практическая значимость:** применение разработанного гибридного алгоритма маршрутизации позволяет уменьшить задержку выбора маршрута в радиосети, состоящей из стационарной и мобильных компонент за счет процедуры обслуживания маршрута.

Ключевые слова: радиосеть, беспроводная сеть, MANET, протоколы маршрутизации, гибридный протокол маршрутизации.

Система декаметровый радиосвязи состоит из распределенных на значительной территории и удаленных от центра управления стационарных радиоцентров, обеспечивающих радиосвязь со стационарными и подвижными объектами управления. Стационарные радиоцентры объединены в стационарную радиосеть (СРС), выполняющую функции телекоммуникационной сети.

Функции телекоммуникационной сети в СРС для территориально распределенных стационарных и подвижных абонентов пунктов управления (ПУ) автоматизированной системы управления (АСУ) ВС РФ выполняет система радиосвязи.

Применение современных информационных технологий в АСУ ВС РФ приводит к значительному увеличению объема информационных потоков между ПУ и, соответственно, в СРС. Использование в СРС перспективных радиосредств не позволяет решить задачу своевременного обслуживания поступающей в радиосеть нагрузки.

АСУ ВС РФ предъявляет жесткие требования по вероятностно-временным характеристикам доведения информации между абонентами ПУ. Это приводит к необходимости выделения части абонентам ПУ закрепленных каналов СРС с фиксированной требуемой пропускной способностью. При этом остальным абонентам ПУ невозможно предоставить закрепленные каналы СРС, которые бы обеспечили требуемые характеристики информационного обмена. Следовательно, существует проблема обслуживания абонентского трафика АСУ ВС с заданными требованиями в условиях нехватки общего ресурса СРС.

Данную проблему можно решать следующими способами: использованием случайного множественного доступа (СМД) или предоставлением каналов по требованию. СМД предпочтительно применять для сетей с большим числом (сотни и тысячи) низкоскоростных терминалов, генерирующих пульсирующий трафик. Но при этом протоколы СМД не гарантируют требуемое качество обслуживания.

Решение проблемы распределения общего ресурса с помощью предоставления каналов по требованию реализуется путем организации с центра управления радиосети динамического распределения пропускной способности в зависимости от запросов абонентов. Запросы абонентов на выделение части коммуникационного ресурса радиосети передаются в центр управления при возникновении необходимости в передаче информации, как правило, в режиме случайного доступа. Передача информационных потоков от абонентов происходит в бесконфликтном режиме после успешного резервирования запрошенного ресурса.

Наличие скрытых станций является следующей проблемой в радиосетях, что приводит к существенному снижению скорости передачи в сети, а иногда и к блокировке соединений между станциями и к нарушению связности сети. Поэтому основной механизм, лежащий в основе протокола доступа в радиосети, заключается в том, что станция должна передать короткий кадр, чтобы окружающие станции могли услышать эту передачу и воздержаться от своих передач на время, требуемое для приема информационного кадра. Но распределенный метод доступа неэффективен в многошаговых радиосетях и может привести к уменьшению вероятности успешной передачи пакета, что необходимо учитывать протоколу маршрутизации радиосети.

Одной из основных задач в многошаговых радиосетях является задача поиска маршрута между отправителем и получателем (задача маршрутизации).

Особенности радиосетей приводят к тому, что протоколы маршрутизации, используемые в проводных сетях, в мобильных радиосетях без предварительной инфраструктуры, с изменяющейся из-за подвижности станций топологией оказываются неэффективными и не обеспечивают нужную производительность [1].

Протоколы маршрутизации работают на сетевом уровне и не взаимодействуют с канальным уровнем. Поэтому им недоступна информация канального уровня о вероятности искажения пакетов помехами и коллизиями, применяемых сигнально-кодовых конструкциях, методе доступа к общему ресурсу радиоканала и параметрах механизма повторных передач неприятых пакетов.

Также протоколы маршрутизации не учитывают особенности среды распространения радиоволн. При широкополосной передаче в радиосети существует высокая вероятность потери пакета, что приводит к высокой вероятности потери служебной информации протокола маршрутизации. Вероятность потери пакета экспоненциально увеличивается при увеличении его длины, что накладывает ограничения на возможности агрегирования пакетов в радиосети. Передача пакета одной станцией оказывает влияние на передачу пакетов соседними станциями, что приводит к искажениям и коллизиям пакетов.

Таким образом, протоколы маршрутизации не могут определить вероятность успешной передачи пакета в радиосети и пропускную способность соединения. Поэтому маршруты, определенные без учета информации канального уровня, характеризуются, как правило, низкой пропускной способностью и нестабильностью.

Для повышения эффективности протоколов маршрутизации в радиосетях их необходимо снабдить информацией о канальном уровне. Эту информацию, например, о качестве соединений, нужно использовать при формировании метрики маршрута. Вторым вариантом является решение задачи маршрутизации на канальном уровне.

Многие алгоритмы выбора оптимальных маршрутов используют простейшие критерии оценки оптимальности полученного маршрута. Одним из самых распространенных критериев является длина маршрута, которая выражается числом узлов сети, задействованных в маршруте

при передаче информации. В некоторых алгоритмах маршрутизации учитывается максимальная пропускная способность между двумя узлами сети. Выбор оптимального маршрута по данным критериям не учитывает ряд параметров, которые присутствуют в сетях при практическом применении. В радиосетях в качестве критерия оптимальности можно использовать уровень сигнала в радиоканале между двумя узлами и текущую загрузку фрагментов маршрута.

На транспортном уровне протоколы управления передачей данных рассчитаны на условия стабильной сетевой топологии стационарных сетей. Особенности радиосетей без предварительной инфраструктуры с изменяющейся топологией (сети *MANET* – *Mobile Ad Hoc Networks* или *Ad Hoc* сети), ограничивают применение таких протоколов, например, протокола *TCP* [2]. Для решения этой проблемы разработаны версии модифицированного протокола транспортного уровня *TCP*, который не использует обратную связь, но реагирует на состояние канала связи и динамически выбирает скорость передачи данных. Этот механизм реализуется с помощью наблюдения за состоянием буфера протокола, очередей пакетов и пошаговой передачи.

В настоящее время существует два основных подхода к построению алгоритмов и протоколов маршрутизации для динамических сетей.

Первый из них является превентивным, т. к. алгоритмы данного типа поддерживают маршруты ко всем узлам сети, используя периодический обмен служебными сообщениями. Как следствие, увеличение скорости изменения топологии приводит к соответствующему росту служебного трафика, что, в свою очередь, влечет неоправданный расход процессорного времени, энергоресурса, пропускной способности. Альтернативный подход заключается в организации маршрутов «по требованию», когда по ним действительно нужно передавать данные. В этом случае нет необходимости поддерживать в рабочем состоянии все возможные маршруты, однако в определенных ситуациях затраты на поиск пути становятся сопоставимыми с объемом передаваемой информации, а возникающие задержки – неприемлемо высокими.

По способу выбора маршрута можно определить три класса протоколов маршрутизации в радиосетях: проактивные, реактивные и комбинированные [3, 4, 5].

Проактивные протоколы маршрутизации формируют таблицы маршрутов до начала передачи пакетов. В процессе функционирования эти протоколы обмениваются постоянно или периодически маршрутной информацией для поддержания таблиц маршрутов в актуальном виде. Такой подход используется протоколами маршрутизации в проводных сетях. При этом передача пакетов начинается сразу после выбора оптимального маршрута из таблицы маршрутов, но предварительно происходит обмен маршрутной информацией для нахождения маршрутов и построение таблиц маршрутов, потому что необходимо получить всю необходимую информацию о топологии сети до начала передачи пакетов.

К проактивным протоколам маршрутизации относятся *DSDV* (*Destination Sequenced Distance Vector*), *OLSR* (*Optimized Link State Routing*) [3, 4, 5].

Реактивные протоколы маршрутизации предварительно не строят таблицы маршрутов. Построение маршрута инициируется по требованию после появления необходимости в передаче пакета. Построение маршрута по требованию основано на механизме наводнения. Узел отправитель передает первый пакет всем своим соседям, а они перенаправляют его дальше, пока пакет не будет доставлен до узла назначения. При передаче пакета через узлы сети в его заголовке записывается последовательность узлов, через которые он прошел. Эта информация используется узлами при передаче последующих пакетов для выбора исходящего интерфейса.

Реактивные протоколы маршрутизации менее загружают сеть служебной информацией, но имеют большую задержку перед началом передачи пакета, потому что поиск маршрута начнется только после появления необходимости в передаче пакета у узла отправителя.

К реактивным протоколам маршрутизации относят *DSR* (*Dynamic Source Routing*), *AODV* (*Ad hoc On-Demand Distance Vector*), *TORA* (*Temporally Ordered Routing Algorithm*) [3-6].

Гибридные протоколы маршрутизации включают подходы, используемые в реактивных и проактивных протоколах.

И проактивные, и реактивные протоколы маршрутизации имеют свои преимущества и недостатки, которые делают их пригодными для определенных условий функционирования сети. Так как протоколы проактивной маршрутизации обрабатывают информацию так, что она сразу же доступна, задержка перед отправкой пакета является минимальной. Напротив, протоколам реактивной маршрутизации необходимо сначала определить маршрут, что может привести к значительной задержке, если информация не доступна в кэше.

Кроме того, реактивная процедура поиска маршрута требует значительного контроля трафика из-за лавинного распространения служебных пакетов. Это вместе с большой задержкой определения маршрута может сделать реактивную маршрутизацию менее пригодной для трафика, критичного к времени.

Тем не менее, объем трафика может быть уменьшен за счет использования схемы обслуживания маршрута. Чисто активные схемы используют большую часть пропускной способности для поддержания актуальности маршрутной информации. Вследствие быстрой мобильности узлов обновления маршрутов могут быть более частыми, чем запросы маршрутизации, и большая часть информации о маршрутизации никогда не используется. Некоторая часть из дефицитной пропускной способности, таким образом, тратится впустую.

Гибридные протоколы маршрутизации используют преимущества этих двух подходов и достаточно эффективно работают при определенных условиях функционирования сети. Примером гибридного протокола является *HWMP (Hybrid Wireless Mesh Protocol)* [7, 8].

В СРС оптимально использовать различные протоколы маршрутизации для различных частей сети. Проактивный протокол, например, *Destination Sequenced Distance Vector (DSDV)* или *Optimized Link State Routing (OLSR)*, лучше подошел бы для статических маршрутизаторов стационарных радиочастотных станций (СРЦ), чтобы обеспечить быструю доступность маршрутов. Реактивный протокол, например, *Adhoc On Demand Distance Vector (AODV)* можно использовать для контроля динамического изменения топологии и подвижности узлов в сети доступа. На основе этой концепции предлагается гибридный протокол, который должен обеспечить лучшее решение проблемы маршрутизации. Необходимо разработать реализацию протокола, который вычисляет весь маршрут и предоставляет его запрашивающему узлу.

Рассмотрим СРС, которая состоит из нескольких *ad hoc* компонентов (сетей доступа) и маршрутизаторов автоматизированных стационарных радиочастотных станций ретрансляторов (маршрутизаторов СРЦ), которые работают в качестве ядра сети (рис. 1). Каждая сеть доступа рассматривается как отдельный регион. Маршрутизатор СРЦ, подключенный к сети доступа, несет ответственность за выдачу адресов узлам (абонентским радиотерминалам – АРТ), маршруты к АРТ других сетей доступа и управление в этой сети доступа.

Предлагаемый протокол маршрутизации (*HRP – Hybrid Routing Protocol*) состоит из трех компонентов маршрутизации:

протокола маршрутизации внутри сети доступа (*Access Network Routing Protocol*) – *ANRP*;

протокола маршрутизации стационарных маршрутизаторов области ретрансляторов (*Router Infrastructure Routing Protocol*) – *RIRP*;

протокола маршрутизации между сетями доступа (*Access network Gateway Routing Protocol*) – *AGRP*.

Маршрутизаторы СРЦ используют протокол *RIRP – Router Infrastructure Routing Protocol*. Поскольку маршрутизаторы СРЦ статические, *RIRP* относится к семейству активных протоколов маршрутизации. Протокол *RIRP* работает на каждом статическом маршрутизаторе

и обеспечивает маршруты к сетям доступа, связанные с маршрутизаторами. Таблицы маршрутизации всегда актуальны, чтобы обеспечить немедленную маршрутизацию. Это позволяет существенно сократить задержки при определении маршрута.

В сети доступа маршруты поддерживаются с помощью протокола *ANRP* – *Access Network Routing Protocol*. *ANRP* – это реактивный протокол маршрутизации, который поддерживает расширенный поиск маршрутов и услуги технического обслуживания маршрута на основе локальных подключений к сети доступа в режиме *ad hoc*.

Протокол *AGRP* – *Access network Gateway Routing Protocol* используется, когда требуется определить маршрут между двумя АРТ разных сетей доступа. Он получает информацию о маршрутах от протоколов *RIRP* и *ANRP* и создает полный маршрут от источника к получателю и предоставляет его в исходный АРТ. Когда АРТ требуется маршрут, протокол *AGRP* получает информацию от протоколов *RIRP* и *ANRP* обеих сетей доступа, строит маршрут и отправляет его *ANRP* и *RIRP*.

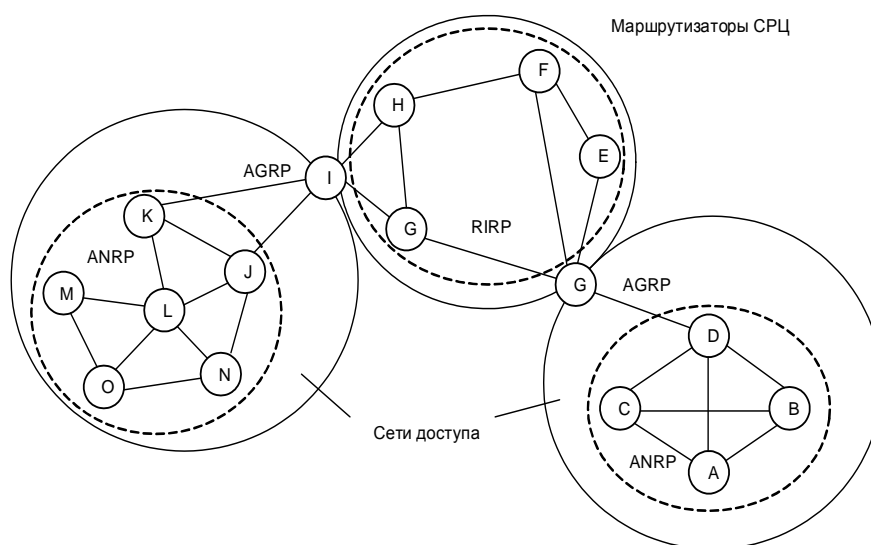


Рис. 1. Пример маршрутизации в СРЦ

Всякий раз, когда новый маршрутизатор включается в сеть или в случае сбоя соединения, протокол *RIRP* должен знать о событии. Для этого *RIRP* использует либо протокол *Neighborhood Discovery Protocol (NHDP)* для доступа к *MAC*-уровню или обеспечивает эти функциональные возможности самостоятельно. Каждый АРТ посылает *hello*-пакеты, содержащие информацию о соседних АРТ, другим АРТ в своей сети доступа через постоянные интервалы времени. Если время ожидания истекает и *hello*-пакет не получен, то можно сказать, что есть проблема с соединением. Благодаря такому обмену каждый АРТ сети доступа получает представление об АРТ в двухшаговой окрестности и о свойствах соединений между этими АРТ. Аналогичным образом, когда новый АРТ приходит в сеть доступа, он может заявить о себе, передавая *hello*-пакет.

Всякий раз, когда АРТ должен послать некоторые данные другим АРТ, он проверяет, имеет ли он маршрут к месту назначения. Если активного маршрута нет, АРТ начинает фазу обнаружения маршрута. Механизм обнаружения маршрута имеет три этапа: запрос маршрута, формирование маршрута и маршрут-ответ.

На этапе запроса маршрута запрос посылается в соседние АРТ, используя протокол *ANRP*. Если соседние АРТ не имеют маршрута до места назначения, они пересылают запрос другим АРТ. Если ни один АРТ не имеет маршрута до пункта назначения, запрос отправляется протоколу *AGRP*, работающему на маршрутизаторе СРЦ, к которому подключена данная сеть доступа. Здесь протокол *AGRP* пытается найти маршрутизатор СРЦ, подключенный к сети доступа получателя с помощью протокола *RIRP*. Когда маршрут к

маршрутизируемому СРЦ найден, протокол *AGRP* использует протокол *ANRP* в сети доступа, в которой находится АРТ назначения, чтобы найти к нему путь.

После того как маршрут до пункта назначения находится, весь маршрут от источника до пункта назначения формируется посредством протокола *AGRP*. Эта фаза называется фазой формирования пути. Когда полный маршрут сформирован, маршрут-ответ с полной информацией отправляется к исходному АРТ, на этом фаза поиска маршрута завершается.

Если АРТ назначения существует в той же сети доступа, что и АРТ отправитель, используется только реактивная маршрутизация. Протокол *ANRP* обнаруживает возможные маршруты и отправляет данные по обнаруженным маршрутам.

Протокол обслуживания маршрута определяет, когда топология сети изменилась, и принимает решение на использование альтернативного маршрута (при наличии) или на запуск протокола обнаружения маршрута, чтобы найти новый путь. Обслуживание маршрута вызывается при обнаружении разрыва соединения во время того, как отправитель активно использует маршрут. Промежуточный узел, который определяет, что следующий узел в маршруте недоступен, посылает пакет ошибки обратно отправителю. Отправитель после получения уведомления об ошибке может использовать другой маршрут или может выполнить поиск маршрута.

Знание топологии сети доступа может быть использовано для обеспечения лучшего обслуживания маршрута. Наличие в маршрутизаторе СРЦ нескольких путей для маршрутизации обеспечит надежность, балансировку нагрузки и лучшее обслуживание маршрута с небольшой задержкой и меньшим контролем трафика.

В протоколе *ANRP*, в связи с динамически меняющейся топологией мобильных АРТ, обслуживание маршрутов имеет очень важное значение. До тех пор, пока нового маршрута не обнаружено, пакеты отбрасываются и реактивный протокол занимает больше времени при определении маршрута. Поэтому многолучевой протокол маршрутизации был бы лучшим вариантом для построения соединения вместо того, чтобы находить новый путь.

Кэш маршрутизатора АРТ может также служить для уменьшения задержки, а также контролировать трафик при поиске путей. Каждый АРТ может активно кэшировать маршруты и, таким образом, уменьшать частоту запуска процедуры обнаружения маршрута. Недоступный путь может быть заменен на другой, который локально может не охватить всю сеть доступа. Этот новый путь будет использоваться для замены старых поврежденных и сообщения обновлений путей могут быть отправлены другим АРТ. Если эти восстановления путей снижают эффективность маршрутов, новая фаза поиска маршрута может начаться после определенного количества таких локальных восстановлений.

Таким образом, для маршрутизаторов СРЦ предлагается использование одного из проактивных протоколов маршрутизации, например, *DSDV (Destination Sequenced Distance Vector)* или *OLSR (Optimized Link State Routing)*. Эти протоколы маршрутизации имеют процедуры поиска маршрута в области инфраструктуры стационарных маршрутизаторов СРЦ. Кроме того, для выполнения этой задачи в сетях доступа предлагается использовать один из реактивных протоколов маршрутизации, например, *AODV (Adhoc Ondemand Distance Vector)*. Для реализации предлагаемого гибридного протокола маршрутизации необходимо разработать реализацию протокола *AGRP (Access network Gateway Routing Protocol)*, который вычисляет весь маршрут и предоставляет его запрашивающему АРТ.

Имитационная модель разработанного гибридного протокола маршрутизации реализована с помощью программного симулятора *Network Simulator (NS-2.34)* [9]. Для сравнительного анализа с существующими протоколами маршрутизации в беспроводных сетях будут использоваться следующие метрики: процент доставленных пакетов, среднее время доставки пакетов, нормированное число пакетов протокола маршрутизации.

Литература

1. Метелев А.П., Чистяков А.В., Жолобов А.Н. Протоколы маршрутизации в беспроводных самоорганизующихся сетях // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. 2013. № 3 (1). С. 75-78.
2. Иовлев Д.И., Бойченко И.В., Абрамов В.В. Повышение устойчивости передачи данных в сетях MANET // Доклады ТУСУРа. 2012. № 2 (26). Часть 1. С. 171-177.
3. Орлов В.Г., Фадеев А.Н. Протоколы маршрутизации в мобильных ad-hoc-сетях / Материалы Международной научно-технической конференции INTERMATIC-2012. (Москва. МИРЭА. 2012). С. 208-212.
4. Маркин В.Г., Рыжкова А.Г. Протоколы маршрутизации в мобильных самоорганизующихся сетях // Теория и техника радиосвязи. 2013. № 4. С. 48-56.
5. Припутин В.С., Жанкевич А.О. Исследование эффекта масштабируемости в беспроводных ad-hoc сетях // Телекоммуникации и транспорт. 2010. № 11. С. 23-25.
6. Карманов М.Л. Протокол маршрутизации для AD-hoc сетей // Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». 2009. Вып. 10. С. 47-51.
7. Ефремов А.Ю. Использование в Mesh-сетях стандарта IEEE 802.11 алгоритмов маршрутизации на основе виртуальных каналов / Труды конференции «Технические и программные средства систем управления, контроля и измерения». – М.: 2010.
8. Вишневецкий В., Лаконцев Д., Сафонов А., Шпилев С. Маршрутизация в широкополосных беспроводных mesh-сетях стандарта IEEE 802.11S // Электроника: Наука, Технология, Бизнес. 2008. № 6. С. 64-69.
9. Молокович И.А. Реализация имитационной модели гибридного протокола маршрутизации беспроводной сети в Network Simulator (NS-2) / Сборник трудов научно-технической конференции «Региональная информатика и информационная безопасность – 2018». Вып. 5. г. Санкт-Петербург.: СПОИСУ. 2018. С. 257-260.

References

1. Metelev A.P., Chistyakov A.V., Zholobov A.N. Protokoly marshrutizatsii v besprovodnykh samoorganizuyushchikhsya setyakh [Routing protocols in wireless self-organizing networks]. Vestnik Nizhegorodskogo universiteta im. N.I. Lobachevskogo [Bulletin of Nizhny Novgorod University. N. I. Lobachevsky]. 2013. № 3 (1). P. 75-78. (In Russian).
2. Iovlev D.I., Boychenko I.V., Abramov V.V. Povysheniye ustoychivosti peredachi dannykh v setyakh MANET [Improving the stability of data transmission in MANET networks]. Doklady TUSURa [Reports Of TUSUR]. 2012. № 2 (26). Part 1. P. 171-177. (In Russian).
3. Orlov V.G., Fadeev A.N. Protokoly marshrutizatsii v mobil'nykh ad-hoc-setyakh [Routing protocols in mobile ad-hoc networks]. Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii INTERMATIC-2012 [Proceedings of the International scientific and technical conference INTERMATIC-2012]. (Moscow. MIREA. 2012). P. 208-212. (In Russian).
4. Markin V.G., Ryzhkova A.G. Protokoly marshrutizatsii v mobil'nykh samoorganizuyushchikhsya setyakh [Routing Protocols in mobile self-organizing networks]. Teoriya i tekhnika radiosvyazi [Theory and technique of radio communication]. 2013. № 4. P. 48-56. (In Russian).
5. Priputen V.S., Jankevics A.O. Issledovaniye effekta masshtabiruyemosti v besprovodnykh ad-hoc setyakh [Study of the effect of scalability in wireless ad-hoc networks]. Telekommunikatsii i transport [Telecommunications and transport]. 2010. № 11. P. 23-25. (In Russian).
6. Karmanov M.L. Protokol marshrutizatsii dlya AD-hoc setey [Routing Protocol for AD-hoc networks]. Seriya «Komp'yuternyye tekhnologii, upravleniye, radioelektronika» [Series "Computer technologies, control, radio electronics"]. 2009. Is. 10. P. 47-51. (In Russian).
7. Efremov A.Y. Ispol'zovaniye v Mesh-setyakh standarta IEEE 802.11 algoritmov marshrutizatsii na osnove virtual'nykh kanalov [The Use of Mesh-networking standard IEEE 802.11 routing algorithms based on virtual channels]. Trudy konferentsii «Tekhnicheskiye i programmnyye sredstva sistem upravleniya, kontrolya i izmereniya» [Proceedings of the conference "Technical and software tools of control, control and measurement systems"]. Moscow. 2010. (In Russian).
8. Vishnevsky V., Lakontsev D., Safonov A., Shpilev S. Marshrutizatsiya v shirokopolosnykh besprovodnykh mesh-setyakh standarta IEEE 802.11S [Routing in IEEE 802.11 broadband wireless mesh

networks]. Elektronika: Nauka, Tekhnologiya, Biznes [Electronics: Science, Technology, Business]. 2008. № 6. P. 64-69. (In Russian).

9. Molokovich I.A. Realizatsiya imitatsionnoy modeli gibridnogo protokola marshrutizatsii besprovodnoy seti v Network Simulator (NS-2) [Implementation of simulation model of hybrid routing Protocol of wireless network in Network Simulator (NS-2)]. Sbornik trudov nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Regional'naya informatika i informatsionnaya bezopasnost' – 2018» [Regional Informatics and information security – 2018. Collection of works]. Is. 5 (SPOIS – SPb. 2018). P. 257 – 260. (In Russian).

Статья поступила 17 июня 2019 г.

Информация об авторе

Молокович Игорь Аркадьевич – Ведущий инженер ПАО «Интелтех». Кандидат технических наук, доцент.

Область научных интересов: телекоммуникационные сети; алгоритмы и протоколы маршрутизации.

Тел.: +79213442429. E-mail: igor-molokovich@yandex.ru.

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

Routing in the stationary radio network decimeter radio

I.A. Molokovich

Annotation. Problem statement: the problems associated with routing in wireless networks and approaches to the choice of routing Protocol are considered. **The aim of the work** is to increase the efficiency of routing in the radio network by reducing the delay in route selection when using the route maintenance procedure. **Methods used:** simulation with a software simulation of telecommunication networks, Network Simulator (NS-2). **The novelty** is that a hybrid routing Protocol consisting of three protocols is proposed for a radio network of a complex structure with stationary and mobile components. For the stationary part of the radio network – a proactive routing Protocol for mobile access networks – active routing Protocol, and routing Protocol between mobile radio networks to form a complete route from source to destination. **The result** is that a variant of a hybrid routing Protocol in a radio network with stationary and mobile components is proposed. The routing procedure is used to improve routing efficiency. When the network topology changes, e.g. due to the unavailability of the next hop in the route, select the alternate route from the route table proactive Protocol cache of a router that supports reactive Protocol. In the absence of an alternative route starts the procedure of route discovery. The route service allows you to reduce the frequency of the startup procedure for the detection of the route and thus reduce the delay of route selection. **Practical relevance:** the application of the developed hybrid routing algorithm allows to reduce the delay of route selection in the radio network consisting of stationary and mobile components due to the route maintenance procedure.

Keywords: radio network, wireless network, MANET, routing protocols, hybrid routing protocol.

Author information

Molokovich Igor Arkadievich – Leading engineer of PJSC "IntelTech". Doctorate of technical Sciences, associate Professor.

Research interests: telecommunication networks; routing algorithms and protocols.

Тел.: +7 921 344 24 29. E-mail: igor-molokovich@yandex.ru.

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

Для цитирования: Молокович И.А. Маршрутизация в стационарной радиосети декаметровый радиосвязи // Техника средств связи. 2019. № 3 (147). С. 33-40.

For citation: Molokovich I.A. Routing in the stationary radio network decimeter radio // Means communication equipment. 2019. № 3 (147). P. 33-40. (In Russian).

ПЕРЕДАЧА, ПРИЕМ И ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ

УДК 621.396.67

Пространственная избирательность антенных решёток при цифровом приёме. Часть 1

Гук И.И.

Аннотация. Постановка задачи: в статье рассматриваются отдельные аспекты построения антенных решёток с высокой пространственной избирательностью с точки зрения приёма широкополосных сигналов в заданном частотном диапазоне при условии использования методов цифровой обработки сигналов. **Целью работы** является рассмотрение вопросов влияния методов цифровой обработки на формирование пространственной избирательности антенных решёток и выбор наиболее оптимальных алгоритмов расчётов, позволяющих эффективно формировать требуемые диаграммы направленности. **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 применение мощных программно-вычислительных возможностей современных персональных компьютеров позволило отказаться от приближённых методов расчёта характеристик антенных решёток и использовать точные формулы. Кроме этого, анализ основывается не на фазовых соотношениях, а на временных задержках, что позволило провести оценку пространственной избирательности не только для одиночного гармонического колебания, но и для многочастотного сигнала. **Результат** заключается в получении оценки пространственной избирательности антенных решёток при различных методах обработки принятого одно- и многочастотных сигналов 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 оптимальном 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, как показано на рис. 1, на котором обозначены:

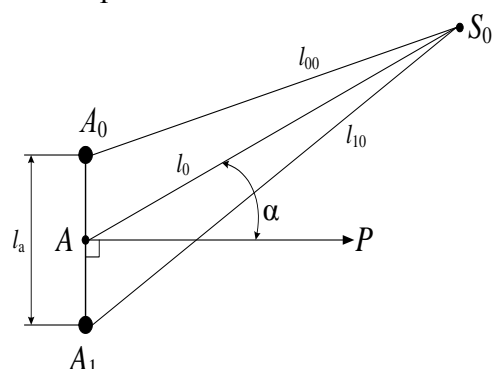


Рис. 1. Геометрия приёмной двухэлементной антенной решетки

A_0 и A_1 – элементы АР; A – точка, делящая расстояние между элементами АР пополам; S_0 – источник сигнала; P – перпендикуляр к оси АР; l_a – расстояние между элементами 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.

Далее, решим несколько задач, связанных с цифровым приёмом сигналов с разных направлений. Первое, что нужно – это определить зависимость разности хода лучей между источником сигнала и элементами A_0 и A_1 антенной решетки от угла α .

Разность между путями приёма для различных элементов антенной решетки

Источник сигналов S_0 расположен под произвольным углом α к перпендикуляру P (см. рис 1). Найдём зависимость разности хода между двумя путями приёма сигнала АР от угла α , расстояний l_0 и l_a :

$$\Delta l = l_{10} - l_{00} = f(\alpha, l_a, l_0). \quad (1)$$

Учитывая тригонометрическое равенство для треугольника: $c^2 = a^2 + b^2 - 2ab \cdot \cos(\alpha_{ab})$, можно получить следующее точное равенство для разности хода лучей:

$$\Delta l = l_a / 2 [(1 + 4k^2 + 4k^2 \sin(\alpha))^{1/2} - (1 + 4k^2 - 4k^2 \sin(\alpha))^{1/2}], \quad (2)$$

где $k = l_0 / l_a$ – отношение расстояния между элементами АР к расстоянию до источника сигнала.

Уже при $k \geq 1$ имеет достаточно точное приближённое значение:

$$\Delta l \approx l_a \cdot \sin(\alpha). \quad (3)$$

Временная задержка и разность фаз между двумя путями приёма

Определим набег фазы в зависимости от разности хода лучей. Временную задержку τ_3 определим исходя из скорости распространения электромагнитных волн и разности хода лучей:

$$\tau_3 = \Delta l / c, \quad (4)$$

где $c = 3 \cdot 10^8$ [м/с] – скорость света, Δl – разность хода лучей.

Разность фаз можно определить исходя из того, что при разности хода лучей, равной длине волны λ , набег фазы соответствует 360° (или 2π в радианах). Поэтому можно составить пропорцию: $2\pi - \lambda; \Delta\varphi - \Delta l$.

Решив её, получаем следующее выражение, определяющее разность фаз для двух путей приёма одного сигнала:

$$\Delta\varphi = 2\pi \Delta l / \lambda = 2\pi f / c = 2\pi f \tau_3, \quad (5)$$

где c – скорость света, $f = c / \lambda$ – частота сигнала, $\tau_3 = \Delta l / c$ – временная задержка между сигналами, принятыми элементами АР.

Важное замечание. Разность фаз принятых сигналов зависит не только от временной задержки между ними, но и от частоты сигнала. Это очень важно при приёме широкополосных сигналов. Данный аспект будет рассмотрен ниже.

Зависимость амплитуды выходного сигнала АР от разности фаз в двух путях приёма

Принятые элементами АР A_0 и A_1 сигналы $S_0(t)$ и $S_1(t)$ от одного источника S_0 могут быть обработаны двумя способами [1]: сложением (получаем результирующий сигнал $S(t, \Delta\varphi)_+$), либо вычитанием ($S(t, \Delta\varphi)_-$). На рис. 2 показаны эти способы обработки.

Отметим, что сложение и вычитание в данном случае являются векторными операциями. На рис. 3 представлена векторная диаграмма обработки принятых сигналов. Здесь введены обозначения: $S_0(t)$ – сигнал, принятый элементом A_0 антенной решётки; $S_1(t)$ – сигнал, принятый элементом A_1 антенной решётки; $\Delta\varphi$ – разность фаз между двумя путями приёма (между $S_0(t)$ и $S_1(t)$); $S(t, \Delta\varphi)_+$ – суммарный принятый сигнал; $S(t, \Delta\varphi)_-$ – разностный принятый сигнал.

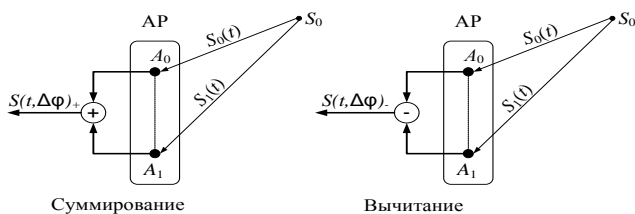


Рис. 2. Способы обработки принятых элементами антенной решетки сигналов

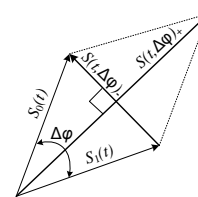


Рис. 3. Векторная диаграмма обработки принятых сигналов от одного источника разными элементами АР

Пусть принятые сигналы $S_0(t)$ и $S_1(t)$ имеют одинаковую амплитуду: $|S_0(t)| = |S_1(t)| = A$. Тогда выражения для амплитуд суммарного и разностного выходных сигналов примут вид:

$$\begin{aligned} A_+ &= |s(t, \Delta\varphi)_+| = 2 \cdot A \cdot |\cos(\Delta\varphi/2)|; \\ A_- &= |s(t, \Delta\varphi)_-| = 2 \cdot A \cdot |\sin(\Delta\varphi/2)|. \end{aligned} \quad (6)$$

Рассмотрим зависимость амплитуд суммарного и разностного выходных сигналов АР для конкретных частот и расстояний между антеннами, например, для частотного диапазона $3 \div 30$ МГц и расстояния между элементами АР $50 \div 5$ м.

На рис 4 и 5 представлены зависимости амплитуд суммарного и разностного сигналов для нескольких значений частот сигнала и расстояний между элементами АР из указанных выше диапазонов (скрипт *MatLab* «*analiz_ar2.m*»). Эта зависимость есть не что иное, как диаграмма направленности (ДН) данной АР, где по кругу отложены градусы, а по радиусу разы. На рис. 4 приведена ДН для частоты 3 МГц и трёх значений расстояния между элементами АР (50, 25, 5 м).

С уменьшением расстояния происходит ухудшение пространственной избирательности для суммарного сигнала и, в конечном итоге, она исчезает – ДН превращается в круг. Для разностного сигнала избирательные свойства сохраняются, но ухудшаются усилительные свойства, т. е. уменьшается максимальное значение амплитуды разностного сигнала. Оптимальным будем считать то расстояние между элементами АР, когда достигается максимум избирательных свойств АР. Это значение будет уточнено во второй части данной статьи, а пока будем считать его равным примерно половине длины волны принимаемого сигнала.

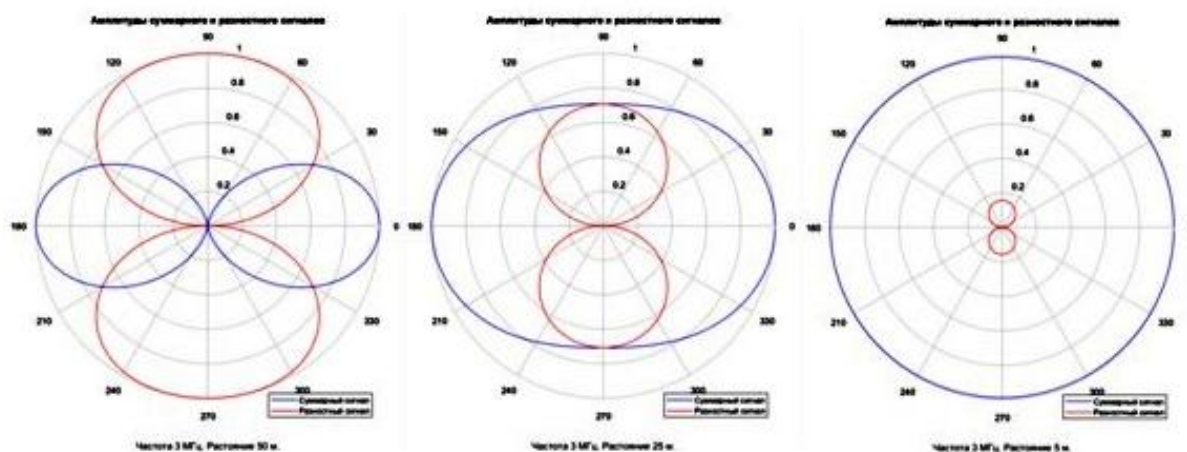


Рис. 4. Диаграммы направленности АР для частоты 3 МГц при расстояниях между элементами АР 50, 25, 5 м

На рис. 5 представлена ДН для частоты 30 МГц и трёх значений расстояния между элементами АР (5, 10 и 50 м).

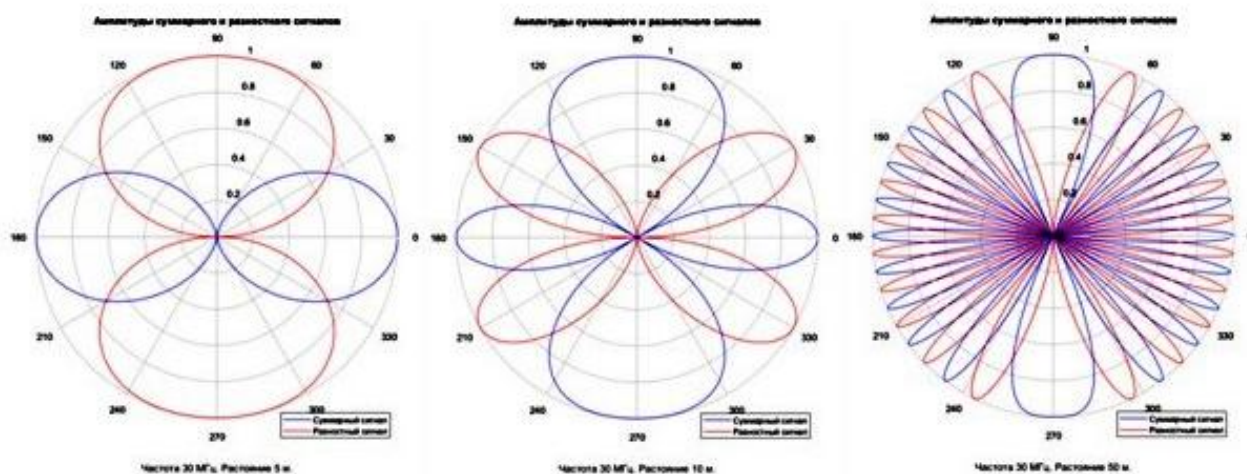


Рис. 5. Диаграммы направленности АР для частоты 30 МГц при расстояниях между элементами АР 5, 10, 50 м

С ростом расстояния происходит ухудшение пространственной избирательности – ДН становится сегментированной как для суммарного, так и для разностного сигналов. Оптимум достигается при расстоянии между элементами АР равном 5 м, т. е. как и в предыдущем случае – при равенстве расстояния половине длины волны.

Пространственная избирательность АР при приеме сигналов с двух направлений

Рассмотрим случай для двух источников сигналов, чтобы оценить избирательные возможности при наличии мешающего сигнала. Взаимное расположение АР и источников сигнала приведено на рис. 6, где обозначены: A_0 и A_1 – элементы АР; S_0 , S_1 – источники сигналов; B – биссектриса угла α ; A – точка, делящая расстояние между элементами АР пополам; P – перпендикуляр к оси АР; l_{00} и l_{10} – расстояние от A_0 и A_1 до S_0 , соответственно; l_{01} и l_{11}

– расстояние от A_0 и A_1 до S_1 , соответственно; α_0 и α_1 – углы между направлениями на источники сигнала S_0 и S_1 , соответственно, и перпендикуляром P ; α_a – угол между биссектрисой и B и перпендикуляром P (угол поворота AP); l_0, l_1 – расстояние от AP до источников сигнала S_0 и S_1 , соответственно; α_s – угол между направлениями на источники сигналов S_0 и S_1 ; l_a – расстояние между элементами AP.

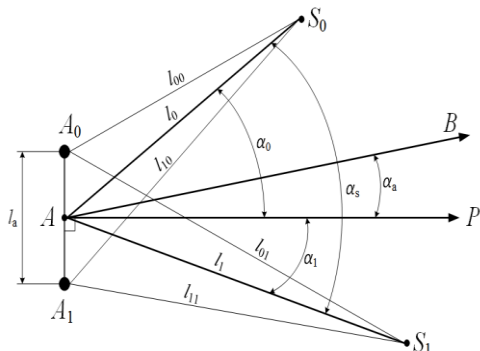


Рис. 6. Геометрия антенной решетки и двух источников сигналов

Рассмотрим случай, когда два сигнала приходит с двух направлений, при этом: рабочие частоты сигналов $S_0(t)$ и $S_1(t)$ равны 30 МГц; расстояние между элементами AP $l_a = 5$ м (оптимальное для заданной частоты); угол между направлениями на источники сигналов $\alpha_s = 30$ и 60 ; сигналы $S_0(t)$ и $S_1(t)$ равны по амплитуде; угол $\alpha_a = 0 \div 360^\circ$.

Результаты расчёта ДН (скрипт *MatLab* «*analiz_ar2_DN.m*») для каждого сигнала представлены на рис 7. При этом необходимо учитывать, что каждый элемент AP принимает сумму сигналов $S_0(t)$ и $S_1(t)$, которые приходят с различных направлений. Условно будем считать сигнал $S_0(t)$ «полезным», а $S_1(t)$ «помехой». Оценкой степени выделения AP полезного сигнала из суммы принятых сигналов будем считать следующий коэффициент:

$$K_{AP} = |S_0(t)| / |S_0(t) + S_1(t)|. \quad (7)$$

Учитывая выражение (6), зависимость для K_{AP} можно представить следующей формулой:

$$K_{AP} = 2A|\cos(\Delta\varphi_0/2)| / (2A|\cos(\Delta\varphi_0/2)| + 2A|\cos(\Delta\varphi_1/2)|) = |\cos(\Delta\varphi_0/2)| / (|\cos(\Delta\varphi_0/2)| + |\cos(\Delta\varphi_1/2)|). \quad (8)$$

Значения фазовых сдвигов $\Delta\varphi_0$ и $\Delta\varphi_1$ определим в соответствии со следующим алгоритмом:

1. Учитывая соотношения между углами, как показано на рис. 6, определим углы α_0 и α_1 :

$$\alpha_0 = 0.5 \alpha_s \pm \alpha_a, \quad \alpha_1 = 0.5 \alpha_s \pm (-\alpha_a). \quad (9)$$

2. Затем рассчитаем разность хода лучей по выражению (3):

$$\Delta l_0 \approx l_a \cdot \sin(\alpha_0); \quad \Delta l_1 \approx l_a \cdot \sin(\alpha_1), \quad (10)$$

где l_a – расстояние между элементами AP.

3. Наконец, в соответствии с (5), определим значения сдвига фаз:

$$\Delta\varphi_0 = 2\pi \cdot f_0 \cdot \Delta l_0 / c; \quad \Delta\varphi_1 = 2\pi \cdot f_1 \cdot \Delta l_1 / c; \quad (11)$$

где $c = 3 \cdot 10^8$ [м/с] – скорость света, f_0 и f_1 – частоты полезного сигнала и помехи (для данного случая считаем их равными и выбранными оптимально для заданного значения l_a).

После расчета значений $\Delta\varphi_0$ и $\Delta\varphi_1$ определим значения коэффициента K_{AP} , согласно (8).

Вначале рассмотрим ситуацию, когда два сигнала приходит с двух направлений, при фиксированном угле между ними, т. е. при тех же условиях, оговоренных выше. Результаты расчёта K_{AP} для данного случая (скрипт *MatLab* «*analiz_ar2_Kar.m*») представлены на рис. 8.

Здесь следует сделать два важных замечания.

Во-первых, зависимость K_{AP} для разностного сигнала имеет ярко выраженный «острый» максимум. Это обуславливает необходимость очень точного отслеживания направления прихода сигналов. Например, в реальных условиях ионосферной радиосвязи в точку приёма приходит несколько лучей, которые имеют девиацию как амплитуды, так и направления прихода. Если приёмное устройство, работающее с разностным сигналом, не будет своевременно отслеживать направление прихода лучей, то эффективность такой системы будет низкой и неустойчивой.

Во-вторых, при приёме двухэлементной АР двух сигналов, приходящих с разных направлений, максимальное значение коэффициента K_{AP} достигается далеко не в максимуме ДН для полезного сигнала. Так, для случая, когда угол между направлениями на полезный сигнал и помеху составляет 60° , максимальное значение K_{AP} достигается при повороте АР на угол 120° (см. рис. 8). При этом, эффективность приёма полезного сигнала составляет ≈ 0.7 относительно максимально возможного значения (см. рис. 7). Для угла между полезным сигналом и помехой 30° эффективность приёма падает до ≈ 0.3 при угле поворота АР $\approx 105^\circ$, обеспечивающем максимум K_{AP} (см. рис. 7 и 8). Таким образом, с одной стороны, добиваясь максимального значения коэффициента K_{AP} мы увеличиваем значение отношения сигнал/помеха, но, с другой стороны, это может привести к снижению эффективности приёма АР в направлении полезного сигнала, что ведёт к снижению энергетики радиолинии и уменьшению отношения сигнал/шум. Поэтому в реальных условиях работы радиолинии необходимо строить алгоритмы адаптации АР по направлению, позволяющие находить компромиссные решения, учитывающие как повышение отношения сигнал/помеха, так и уменьшение отношения сигнал/шум.

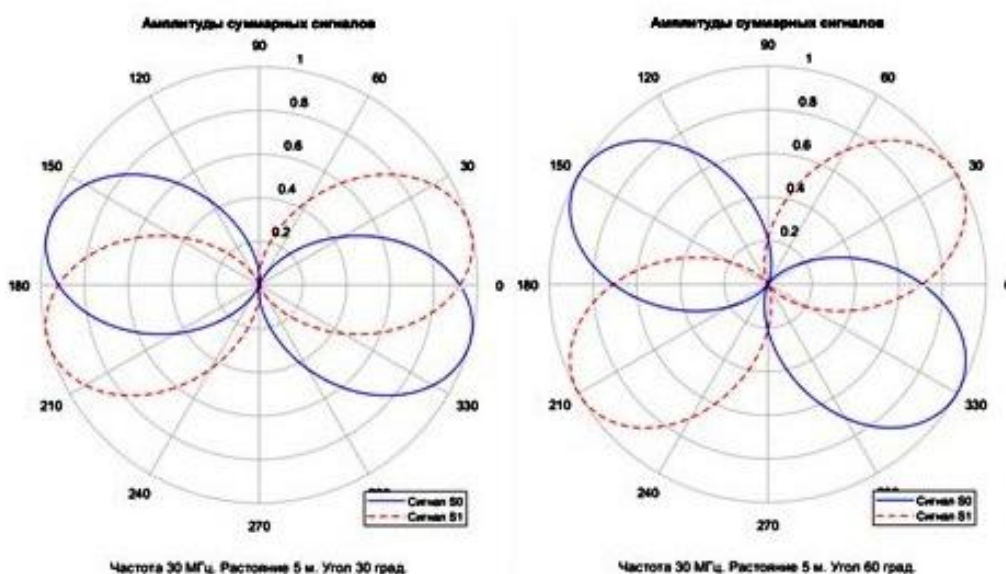


Рис. 7. Расчёт ДН 2-х элементной АР при приёме с двух направлений

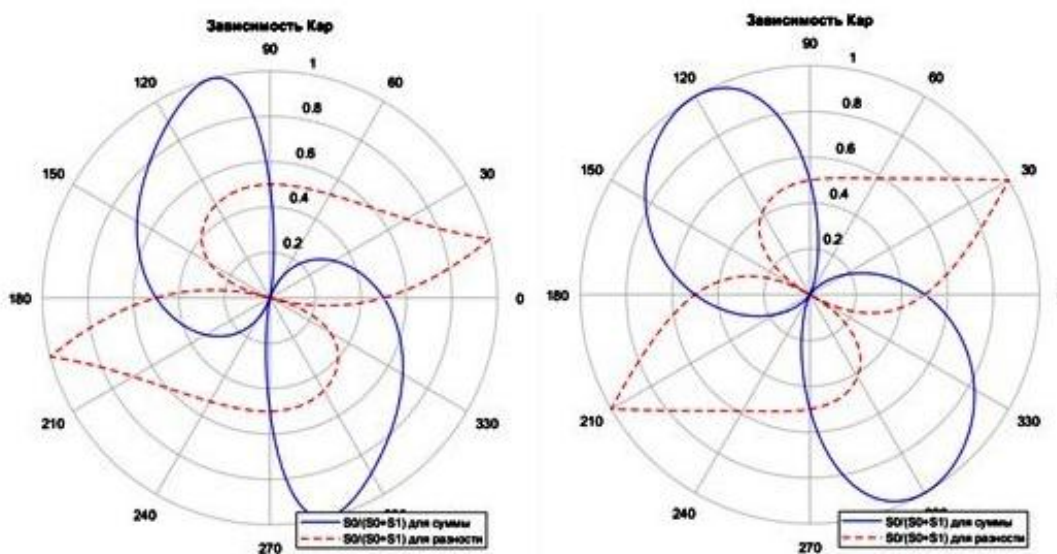


Рис. 8. Зависимость K_{AP} от угла поворота АР при приёме двух сигналов с фиксированных направлений

Теперь проведём эксперимент для следующих условий: рабочая частота та же – 30 МГц; расстояние между элементами АР $l_a = 5$ м (оптимальное для выбранной рабочей частоты); угол между направлениями на источники сигналов $\alpha_s = 0 \div 180^\circ$; сигналы $S_0(t)$ и $S_1(t)$ равны по амплитуде; угол поворота АР $\alpha_a = 0 \div 360^\circ$.

Результат расчёта коэффициента K_{AP} для суммарного сигнала представлен на рис. 9.

Из полученных результатов можно сделать следующие выводы: во-первых, подтверждение того факта, что для разностного сигнала зависимость имеет остронаправленный характер, во-вторых, максимальная эффективность подавления помехи достигается при 90° между направлениями на источники сигнала и помехи.

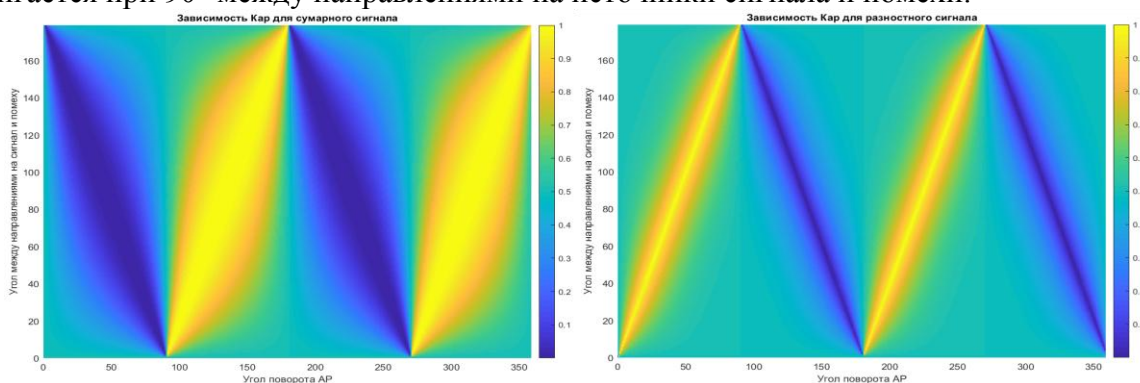


Рис. 9. Сонограмма коэффициента K_{AP}

Приём полосового (многочастотного) сигнала

Все полученные ранее результаты основывались на том допущении, что полезный сигнал и помеха являются гармоническими, то есть одночастотными. Рассмотрим, как будет работать АР при приёме полосового (многочастотного сигнала).

Под полосовым сигналом будем понимать сигнал, имеющий сплошной спектр частот, а под многочастотным – состоящий из набора гармонических колебаний различной частоты.

При анализе пространственной избирательности АР при приёме полосового (многочастотного) сигнала будем опираться на геометрию, представленную на рис. 1.

Перепишем выражение (6) для условий, что $\Delta\varphi = \omega\tau$:

$$\begin{aligned} |s(t, \Delta\varphi)_+| &= 2A|\cos(0.5 \Delta\varphi)| = 2A|\cos(0.5 \omega_c \tau)| = |s(t, \tau)_+|, \\ |s(t, \Delta\varphi)_-| &= 2A|\sin(0.5 \Delta\varphi)| = 2A|\sin(0.5 \omega_c \tau)| = |s(t, \tau)_-|. \end{aligned} \quad (12)$$

Для построения сонограмм спектра амплитуд суммарного и разностного сигналов зададимся следующими граничными условиями:

1. Амплитуда исходного сигнала равна 1, т. е. $A = |s(t)| = 1$.
2. Циклическая частота определяется через линейную, т.е. $\omega_c = 2\pi f_c$.
3. Полоса частот сигнала определяется соотношением:

$$f_c = [0, 0.5F_d] = 0.5F_c F_d / F_{\max}, \quad (13)$$

где $F_c = [0, 0.5F_{\max}]$ – целочисленный вектор, определяющий номера отсчётов частотных составляющих сигнала; F_{\max} – произвольное целое число, определяющее точность представления частоты сигнала (чем больше, тем выше точность); F_d – частота дискретизации сигнала.

4. Интервал временных задержек между двумя лучами определяется как

$$\tau = [0, K_d T_d] = T_c K_d T_d / T_{\max}, \quad (14)$$

где $T_c = [0, T_{\max}]$ – целочисленный вектор, определяющий номера отсчётов задержки по времени τ ; T_{\max} – произвольное целое число, определяющее точность представления задержки τ (чем больше, тем выше точность); $T_d = 1 / F_d$ – период дискретизации сигнала; K_d – произвольное целое число, определяющее количество периодов дискретизации, которое желательно отобразить на сонограмме.

С учётом указанных выше допущений, выражение (12) примет вид:

$$\begin{aligned} |s(t, \tau)_+| &= 2|\cos(\pi f_c \tau)| = 2|\cos[\pi (0.5F_c F_d / F_{\max}) (T_c K_d T_d / T_{\max})]_+|, \\ |s(t, \tau)_-| &= 2|\sin(\pi f_c \tau)| = 2|\sin[\pi (0.5F_c F_d / F_{\max}) (T_c K_d T_d / T_{\max})]_+|, \end{aligned} \quad (15)$$

или

$$|s(t, \tau)_+| = 2|\cos[0.5 (\pi K_D F_c T_c) / (F_{\max} T_{\max})]_+| = |\cos(P F_c T_c)| ,$$

$$|s(t, \tau)_-| = 2|\sin[0.5 (\pi K_D F_c T_c) / (F_{\max} T_{\max})]_+| = |\sin(P F_c T_c)| , \tag{16}$$

где $P = 0.5 (\pi K_D) / (F_{\max} T_{\max})$ – коэффициент пропорциональности.

Результаты расчёта (скрипт *MatLab* «*model_ar_mf_v4.m*») сонограмм спектров амплитуд суммарного и разностного сигналов представлены на рис. 10.

Рассмотрим конкретный случай приёма полосового сигнала со следующими параметрами: ширина полосы частот – 40 кГц; несущая частота – 300 Гц, 128 кГц и 3 МГц; расстояния между элементами АР – до 50 м; частота дискретизации – 100 МГц.

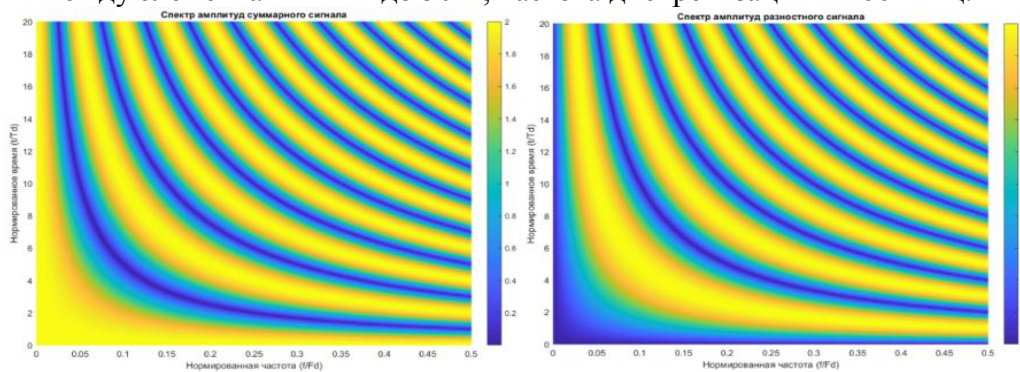


Рис. 10. Сонограммы спектра амплитуд суммарного и разностного сигналов

Определим максимальную задержку между сигналами исходя из расстояния между элементами АР, см. выражение (4): $\tau_3 = \Delta/c = 50/3 \cdot 10^8 = 1.6 \cdot 10^{-7}$.

Рассчитаем количество периодов дискретизации T_D , на интервале задержки $[0, \tau_3]$:

$$K_D = \tau_3 / T_D = \tau_3 \cdot F_D = (1.6 \cdot 10^{-7}) \cdot 10^8 = 16.6.$$

Для построения сонограммы спектра амплитуд некоторого выделенного частотного диапазона, модифицируем выражение (13):

$$f_c = [f_n, (f_n + \Delta f)] = F_c (f_n + \Delta f) / F_{\max} , \tag{17}$$

где: f_n – несущая (начальная) частота, Δf – ширина спектра сигнала, $F_c = F_{\min}, F_{\max} + \Delta f, F_{\max} + 2\Delta f, \dots, F_{\max}$ – вектор нормированных отсчётов спектра сигнала, F_{\max} – произвольное целое число, определяющее точность представления частоты сигнала (чем больше, тем выше точность); $F_{\min} = f_n F_{\max} / (f_n + \Delta f)$ – произвольное число, определяющее начальное значение вектора F_c , соответствующее f_n ; $\Delta f = (F_{\max} - F_{\min}) / F_{\max}$ – шаг вектора нормированных отсчётов спектра сигналов. Тогда выражение (16) примет вид:

$$|s(t, \tau)_+| = 2|\cos[0.5 (\pi F_c (f_n + \Delta f) / F_{\max}) (T_c K_D / (T_{\max} F_D))]_+| = 2|\cos(P_\Delta F_c T_c)| ,$$

$$|s(t, \tau)_-| = 2|\sin[0.5 (\pi F_c (f_n + \Delta f) / F_{\max}) (T_c K_D / (T_{\max} F_D))]_+| = 2|\sin(P_\Delta F_c T_c)| , \tag{18}$$

где $P_\Delta = \pi (f_n + \Delta f) K_D / (F_D F_{\max} T_{\max})$.

Результаты расчёта (скрипт *MatLab* «*model_ar_mf_v5.m*») сонограмм спектров амплитуд суммарного и разностного сигналов представлены на рис. 11.

Для большей наглядности результаты расчёта представлены в виде трёхмерных графиков. Кроме этого, важно обратить внимание, что по оси «Нормированное время (t/T_D)» выбраны противоположные направления для суммарного и разностного сигналов.

Из анализа представленных на рис. 11 графиков видно, что, во-первых, чем ниже частота, тем больше перепад амплитуд в спектре принятого сигнала, во-вторых, для разностного сигнала с понижением несущей частоты значительно снижается максимальная амплитуда.

Данные результаты хорошо согласуются с полученными ранее: направленные свойства АР для суммарного сигнала снижаются при сохранении усилительных свойств, а для разностного сигнала сохраняется избирательность, но значительно ухудшается усиление. Добавляется тот факт, что при приёме полосового (многочастотного) сигнала имеет место искажение амплитуд в полосе приёма как разностного, так и суммарного сигналов.

Имитационное моделирование работы антенной решётки

Для подтверждения полученных аналитических результатов было выполнено имитационное моделирование работы двухэлементной AP в среде *MatLab*.

С учётом геометрии AP и источников сигналов (см. рис. 6), проверка полученных зависимостей проводилась на модели, показанной на рис. 12. Результат хорошо согласуется с общепринятыми теоретическими положениями [2]. При этом на рис. 12 обозначены A_0, A_1 – сумматоры, соответствующие элементам AP; $S_0(t), S_1(t)$ – сигналы от независимых источников; $\Delta t_{00}, \Delta t_{01}$ – задержки сигнала $S_0(t)$ для элемента AP A_0 и A_1 , соответственно; $S(t, \Delta\varphi)_+, S(t, \Delta\varphi)_-$ – суммарный и разностный выходные сигналы, соответственно.

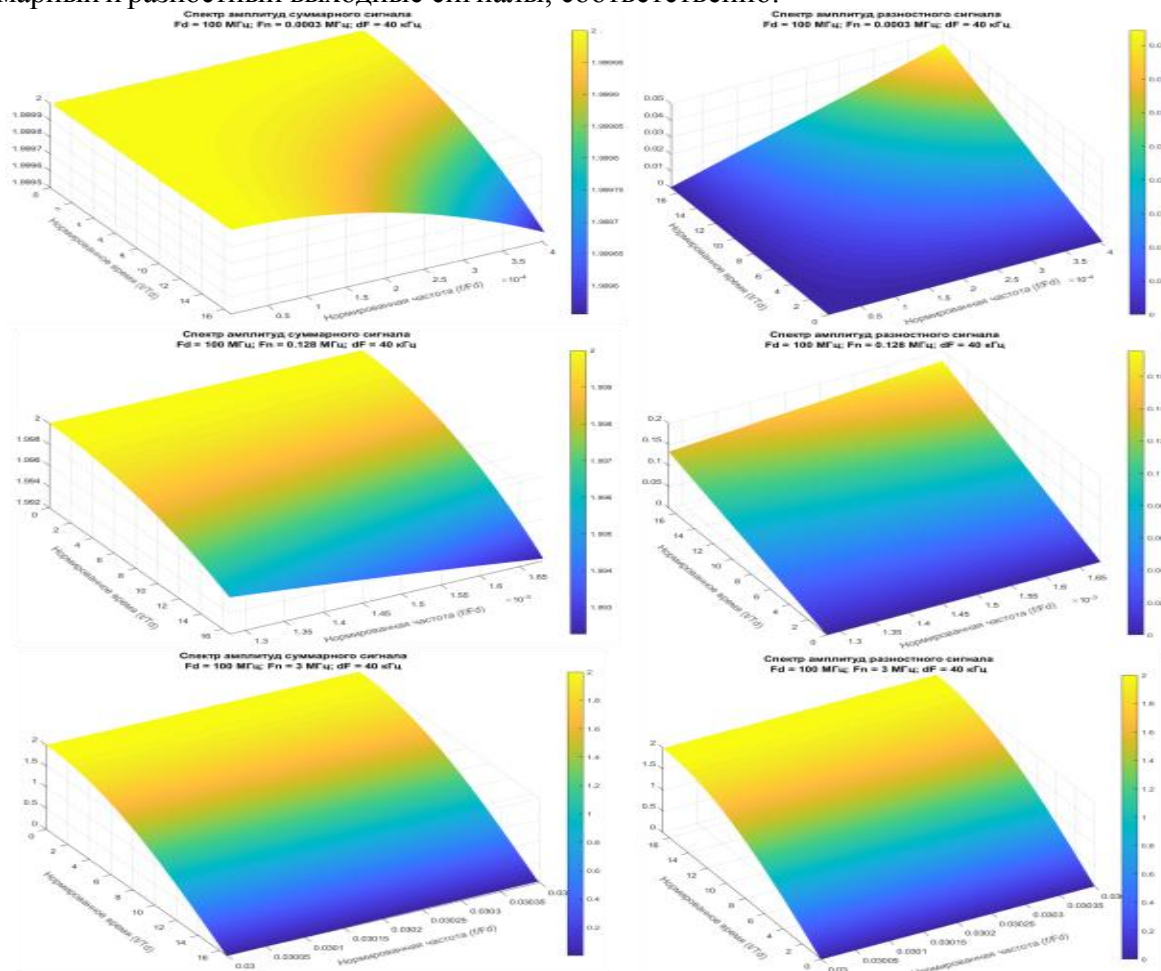


Рис. 11. Графики спектра амплитуд суммарного и разностного сигналов для различных диапазонов частот

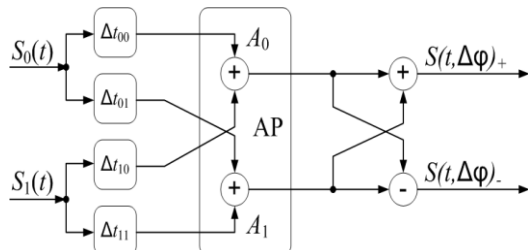


Рис. 12. Модель для анализа приёма антенной решёткой двух сигналов

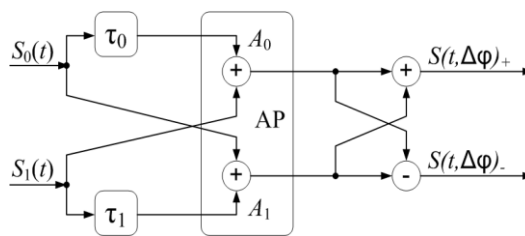


Рис. 13. Упрощённая модель для анализа приёма AP двух сигналов

Результат обработки сигналов $S_0(t)$ и $S_1(t)$ зависит не от абсолютных значений задержек Δt_{ij} , а от их разности:

$$\tau_0 = \Delta t_{00} - \Delta t_{01}; \quad \tau_1 = \Delta t_{10} - \Delta t_{11}. \quad (19)$$

Поэтому схема, представленная на рис. 12, может быть упрощена, см. рис. 13.

Порядок проведения эксперимента следующий:

1. Формируем независимые последовательности отсчётов сигналов $S_0(t)$ и $S_1(t)$, см. рис. 13.
 2. Исходя из заданных угла между направлениями на источники сигналов α_s и угла поворота AP α_a рассчитываем углы между направлениями на источники сигналов и перпендикуляром к AP α_0 и α_1 , см. рис. 6.
 3. Учитывая полученные значения углов α_0 и α_1 , а также заданные рабочий диапазон частот и расстояние между элементами AP, рассчитываем величины задержки τ_0 и τ_1 , см. рис. 13.
 4. С учётом полученных значений τ_0 и τ_1 формируем последовательности задержанных сигналов $S_0(t)$ и $S_1(t)$, см. рис. 13.
 5. Проводим расчёт сигналов $S(t, \Delta\varphi)_+$ и $S(t, \Delta\varphi)_-$ согласно модели, приведенной на рис. 13.
- При моделировании задаются следующие значения исходных данных: частотный диапазон $3 \div 30$ МГц; расстояние между элементами AP $l_a = 50 \div 5$ м; угол между направлениями на источники сигналов $\alpha_s = 0 \div 180^\circ$; угол поворота AP $\alpha_a = 0 \div 360^\circ$.

Моделирование ДН двухэлементной AP

Первый эксперимент будет заключаться в подтверждении результата, показанного на рис. 4 и 5 (зависимость амплитуд выходных сигналов AP от набега фаз).

При проведении моделирования предполагалось: рассмотреть крайние точки частотного диапазона: 3 и 30 МГц; значений расстояний между элементами AP l_a только два – 50 и 5 м; угол между направлениями на источники сигналов $\alpha_s = 0$; сигнал $S_1(t)$ тождественно равен 0; угол поворота AP $\alpha_a = 0 \div 360^\circ$.

Совпадение результатов расчёта и моделирование (скрипт *MatLab* «*model_ar_for_DN.m*») достаточно хорошее, поэтому на рис. 14 приводится в качестве иллюстрации только два графика.

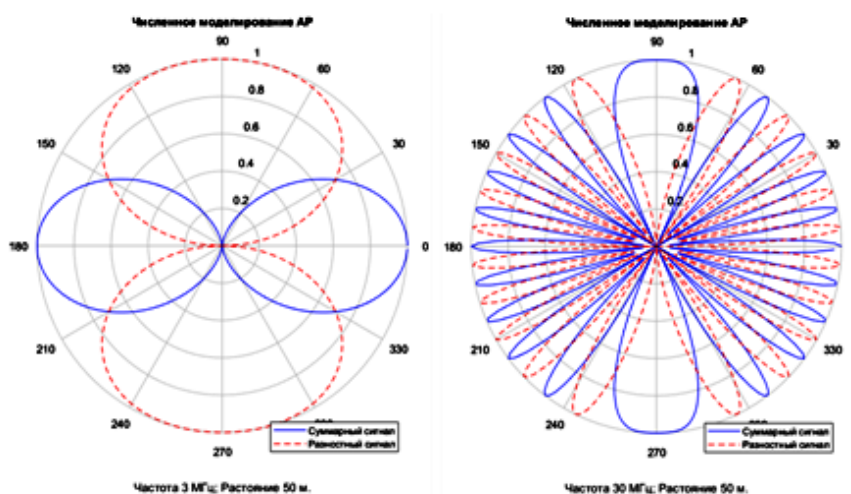


Рис. 14. ДН 2-х элементной AP, полученные в результате имитационного моделирования

Моделирование AP при приёме сигналов с двух направлений

Рассмотрим ситуацию, когда два сигнала приходит с двух направлений, при этом: рабочие частоты сигналов $S_0(t)$ и $S_1(t)$ 30 и 30.1 МГц, соответственно; расстояние между элементами AP $l_a = 5$ м (оптимальное расстояние для выбранных рабочих частот); угол между направлениями на источники сигналов $\alpha_s = 30$ и 60 ; сигналы $S_0(t)$ и $S_1(t)$ равны по амплитуде; угол поворота AP $\alpha_a = 0 \div 360^\circ$.

Результат имитационного моделирования зависимости коэффициента K_{AP} от угла поворота AP (скрипт *MatLab* «*model_ar_for_2.m*») представлен на рис. 15.

Теперь проведём эксперимент для следующий условий: рабочая частоты те же – 30 и 30.1 МГц; расстояние между элементами AP $l_a = 5$ м (это оптимальное расстояние для

выбранной рабочей частоты); угол между направлениями на источники сигналов $\alpha_s = 0 \div 180^\circ$; сигналы $S_0(t)$ и $S_1(t)$ равны по амплитуде; угол поворота AP $\alpha_a = 0 \div 360^\circ$.

Результат моделирования (скрипт *MatLab* «*model_ar_for_band.m*») коэффициента K_{AP} для суммарного сигнала представлен на рис. 16.

Сопоставляя результаты, полученные в ходе расчёта и имитационного моделирования, так же видно их хорошее совпадения, см. рис. 9 и 16.

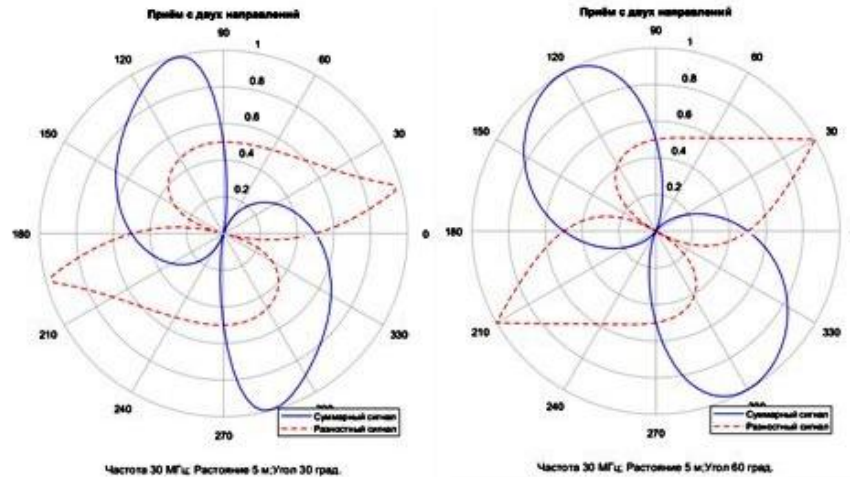


Рис. 15. Зависимость K_{AP} от угла поворота AP при приёме двух сигналов при имитационном моделировании

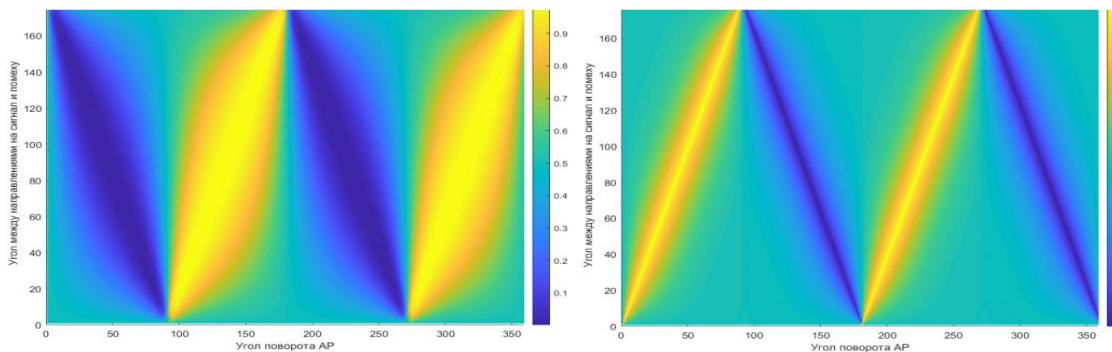


Рис. 16. Коэффициент K_{AP} , полученный в результате моделирования

Моделирование приём полосового (многочастотного) сигнала

Для имитационного моделирования приёма полосового (многочастотного) сигнала исходя из выбранной геометрии (см. рис. 1) строится модель эксперимента, представленная на рис. 17.

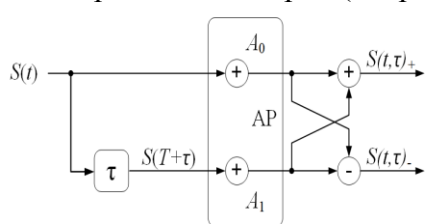


Рис.17. Модель для анализа приёма AP многочастотного сигнала

Последовательность проведения имитационного моделирования следующая:

1. Сформировать полосовой (многочастотный) сигнал $S(t)$.
2. Определить текущее значение задержки τ .
3. Сформировать задержанный сигнал $S(t+\tau)$.
4. Вычислить значение суммы и разности прямого и задержанного сигналов $S(t, \tau)_+$ и $S(t, \tau)_-$, соответственно.
5. Вычислить спектры сигналов $S(t, \tau)_+$ и $S(t, \tau)_-$.
6. Пп. 2-5 повторить для новых значений задержки τ .

Зададимся следующими граничными условиями при проведении моделирования: полосовой сигнал формируется во временной области как единичный импульс ($S(t) = 1$, при $t = 0$, $S(t) = 0$, при $t \neq 0$), многочастотный сигнал формируется как сумма конечного числа гармонических колебаний, отличных по частоте;

изменение спектра суммарного и разностного выходных сигналов будут рассматриваться в нормированном (относительно частоты дискретизации F_D) диапазоне частот: $F = f / F_D$;

временные задержки между сигналами от различных элементов АР будут рассматриваться в нормированном (относительно периода дискретизации T_d) времени: $T = t / T_d$.

Результаты имитационного моделирования (скрипт *MatLab* «*model_ar_mf_v6.m*») для спектров суммарного и разностного сигналов представлены на рис. 18.

Сравнивая результаты аналитического расчёта и имитационного моделирования (см. рис. 10 и 18), видим их качественное (!) совпадение. Однако, очевидны и различия. Эти различия обусловлены спецификой цифровой обработки. Принимаемый сигнал должен быть переведён в цифру. Это означает, что вначале проводится дискретизация по времени, а затем квантование по амплитуде. Квантование обуславливает шумы квантования, уровень которых может быть рассчитан заранее и минимизирован. Вопросы, связанные с квантованием, хорошо рассмотрены как в учебных курсах по цифровой обработке, так и в специальной литературе.

Когда количество отсчётов на период стремится к предельному значению, снижается точность восстановления амплитуды. В предельном случае ($f_c = 0,5 F_d$), имеется полная неопределённость с амплитудой, например, если отсчёты будут попадать в нулевые точки сигнала, восстановить амплитуду невозможно.

Дискретность спектра преобразования Фурье не всегда соответствует реальному сигналу, который может быть либо непрерывным, либо дискретным, но не совпадающим с гармониками Фурье. Это приводит к тому, преобразование Фурье производит паразитную модуляцию реального сигнала – полученный спектр «размывается» по отношению к реальному.

А вот с дискретизацией сложнее. Во-первых, согласно теореме Котельникова, требуется хотя бы два отсчёта на период, во-вторых, об этом часто забывают, преобразование Фурье предполагает периодичность сигнала во времени (!), что даёт дискретность спектра.

Перечисленные выше факторы приводят к отличиям между аналитическими и имитационными зависимостями сонограмм спектра амплитуд, представленных на рис. 10 и 18. Очевидным способом борьбы с такими искажениями может служить повышение частоты дискретизации до уровня $f_c \leq 0,2 F_d$.

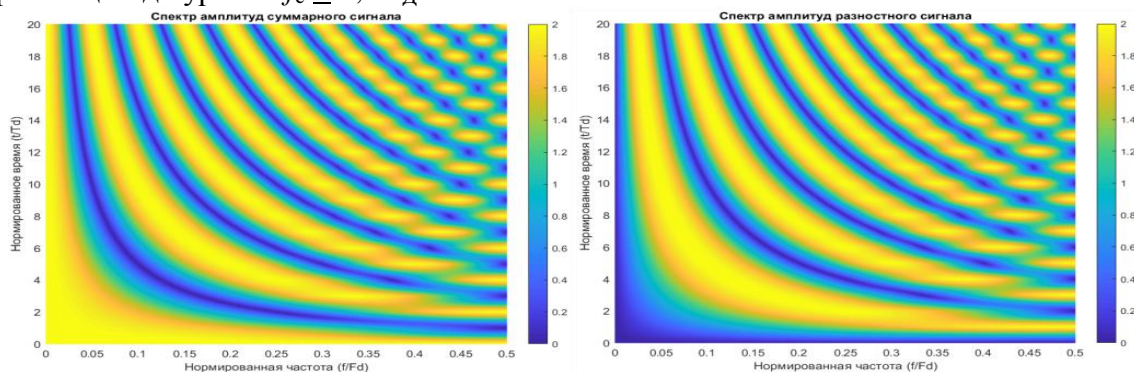


Рис. 18. Сонограммы спектра амплитуд суммарного и разностного сигналов при имитационном моделировании

Выводы

Проведённый анализ пространственной избирательности двухэлементной антенной решётки, подтверждённый результатами имитационного моделирования, позволяет сделать следующие выводы:

1. Для обеспечения максимальной пространственной избирательности как для суммарного, так и для разностного сигналов, расстояние между элементами АР должно быть равным половине длины волны принимаемого сигнала ($l_a \approx \lambda/2$).
2. Для суммарного сигнала ДН при $\lambda \gg l_a$ вырождается в круг, а при $\lambda \ll l_a$ сильно искажается, становясь многолучевой.
3. Для разностного сигнала при $\lambda \gg l_a$ избирательные свойства сохраняются, однако усиление АР резко снижается, а при $\lambda \ll l_a$ ДН становится многолучевой.

4. При приёме полосового сигнала происходит искажение его спектра. В зависимости от ширины спектра в нём могут появиться нули.

5. Если спектр не так широк, чтобы появились нули, он будет иметь наклонный перепад амплитуд.

6. Чем более низкочастотный спектр, тем больше перепад амплитуд.

7. Кроме этого, перепад амплитуд спектра зависит и от величины задержки между сигналами, принимаемыми элементами антенной решётки: чем больше задержка, тем больше перепад. Максимальная величина задержки определяется расстоянием между элементами АР.

8. Частота дискретизации должна выбираться из условия $f_c \leq 0,2 F_d$.

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], M.: Sovetskoe radio, 1964. – 640 p. (In Russian).

Статья поступила 22 июня 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 волн. Тел.: +7 911 170 49 35. E-mail: gook_igor@mail.ru.

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

The spatial selectivity of the antenna arrays with digital reception. Part 1

I.I. Guk

Annotation. 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.

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

Information about Author

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

Для цитирования: Гук И.И. Пространственная избирательность антенных решёток при цифровом приёме. Часть 1 // Техника средств связи. 2019. № 3 (147). С. 41-52.

For citation: Guk I.I. The spatial selectivity of the antenna arrays with digital reception. Part 1. Means of communication equipment. 2019. № 3 (147). P. 41-52. (In Russian).

МОДЕЛИРОВАНИЕ СЛОЖНЫХ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

УДК 51-74

Имитационная модель сети военной связи

Моисеев А.А., Чуев А.В., Киселев А.А., Миронов А.А.

Аннотация. Постановка задачи: ядром статьи для комплексного, всестороннего исследования сети военной связи выбран системный анализ, на основе которого рассматриваемая сеть включает в свой состав подсистемы: узлов (станций), линий, управления, обеспечения, резервов. В рассматриваемой исследовательской задаче представляется весьма затруднительным формулировка объекта в виде аналитической математической модели, а также аналитические и численные решения являются малоэффективными из-за их громоздкости и ограничений на вычислительные ресурсы. **Результат:** на этом основании представлена последовательность разработки имитационной математической модели сети военной связи на базе принципов модульности и структурного подобия, используя теорию сетей Петри и их логическую схему построения. Для реализации указанного подхода предложены следующие этапы моделирования: синтез морфологической структуры имитационной модели, структуризация имитационной модели, формализация и алгоритмизация элементов модели, разработка описаний позиций и переходов сети, отладка и проведение компьютерных экспериментов. С точки зрения научной проблематики, наибольший интерес представляют первые три этапа, которые подробно рассматриваются в статье. Важнейшей функцией математического имитационного моделирования является не только и не столько получение количественных оценок, а адресная помощь исследователю (разработчику) разобраться в существе изучаемой (проектируемой) системы. Это выражается в адекватном отражении процессов функционирования сложной многоуровневой иерархической системы, позволяя учитывать при этом отличительные, индивидуальные особенности системы и описывать асинхронность и параллелизм выполнения процессов и событий. Предложенный подход создает предпосылки объективного взгляда на реальные процессы, сосредоточивая их внимание не на частностях, а на закономерностях.

Ключевые слова: сеть военной связи, имитационная модель, сеть Петри, макропереход, примитивные события, непримитивные события, оператор, элементарная функция, дерево функций.

Введение

Основополагающими принципами построения имитационной модели сети военной связи (СВС) являются модульность и структурное подобие. Принцип модульности предполагает деление моделируемой сети на фрагменты (модули), каждый из которых представляет собой технологически автономный объект, описываемый своей имитационной моделью [1]. Автономность означает, что данный модуль имеет относительно небольшое число связей с другими модулями. Это дает возможность выполнить проверку качества функционирования построенной модели фрагмента.

Под структурным подобием СВС и модели будем понимать соответствие каждого существенного с точки зрения решаемой задачи элемента сети элементу модели.

Имитационные модели функционирования СВС и реализующие их программные комплексы должны обеспечивать быструю настройку на различную технологическую структуру. Кроме того, они должны выступать в качестве инструментария, позволяющего учитывать специфику сети, а также асинхронность и параллелизм выполнения процессов и событий. Указанные аспекты позволяют при построении имитационной модели СВС использовать аппарат теории сетей Петри, в наибольшей степени отвечающий рассмотренным требованиям [2, 3]. При разработке имитационной модели функционирования сети на основе аппарата теории сетей Петри и в соответствии с принципами модульности и структурного подобия могут быть выделены следующие этапы моделирования.

Первый этап – синтез морфологической структуры имитационной модели, отражающей структуру рассматриваемой сети.

Второй этап – структуризация имитационной модели СВС с определением действующих в сети процессов и используемых ресурсов, учетом множества позиций (в модели отображают состояния процессов и ресурсов) и переходов (событий), подмножества синхронизирующих переходов. Перечисленные множества и подмножества удается построить в окончательном виде только в простых задачах моделирования. В большинстве случаев состав множества позиций и переходов сети неоднократно уточняется.

На третьем этапе производится формализация и алгоритмизация элементов модели, предполагающая формирование атрибутов меток, ограничений на число меток, способов упорядочения и начального распределения меток для каждой позиции. Для формального описания перехода требуется определение множества смежных с этим переходом позиций, условий возбуждения, схемы и процедуры выполнения перехода.

На четвертом этапе программирования модели осуществляется разработка описаний позиций и переходов сети, оформляемых в виде фрагментов программ.

Пятый этап – отладка и проведение компьютерных экспериментов с имитационной моделью. Его содержанием является включение в программу модели операторов, обеспечивающих задание начальных условий, сбор статистики и управление прогонами модели.

С точки зрения научной проблематики наибольший интерес представляют первые три этапа. Четвертый и пятый этапы носят чисто прикладной характер.

Морфологическая структура имитационной модели сети военной связи

На основании принципа подобия и учитывая особенности функционирования СВС, ее имитационную модель ($M_{СВС}$), можно представить в виде кортежа [1]:

$$M_{СВС} = \langle M_{ПУз}, M_{ЛЛС}, M_{ПУпр}, M_{ПОб}, M_{ПРез} \rangle, \quad (1)$$

где $M_{ПУз}$ – имитационная модель подсистемы узлов (станций),

$M_{ЛЛС}$ – имитационная модель подсистемы линий связи;

$M_{ПУпр}$ – имитационная модель подсистемы управления;

$M_{ПОб}$ – имитационная модель подсистемы обеспечения;

$M_{ПРез}$ – имитационная модель подсистемы резерва.

Каждая из рассматриваемых подсистем, кроме подсистемы управления, охвачена индивидуальным целенаправленным воздействием со стороны подсистемы управления. На этом основании каждая из моделей подсистем $M_{ПУз}$, $M_{ЛЛС}$, $M_{ПОб}$, $M_{ПРез}$ включает индивидуальную модель подсистемы управления и свое специализированное оборудование, поэтому по аналогии с (1) можно записать:

$$\left. \begin{aligned} M_{ПУз} &= \langle M_{ПУпр1}, M_{СОУз} \rangle, \\ M_{ЛЛС} &= \langle M_{ПУпр2}, M_{СОЛС} \rangle, \\ M_{ПОб} &= \langle M_{ПУпр3}, M_{СООб} \rangle, \\ M_{ПРез} &= \langle M_{ПУпр4}, M_{СОРез} \rangle \end{aligned} \right\}, \quad (2)$$

где $M_{ПУпр1}$ – имитационная модель управления подсистемой узлов (станций);

$M_{СОУз}$ – имитационная модель специализированного оборудования подсистемы узлов (станций);

$M_{ПУпр2}$ – имитационная модель управления подсистемой линий связи;

$M_{СОЛС}$ – имитационная модель специализированного оборудования подсистемы линий связи;

$M_{ПУпр3}$ – имитационная модель управления подсистемой обеспечения;

$M_{СООб}$ – имитационная модель специализированного оборудования подсистемы обеспечения;

$M_{ПУпр4}$ – имитационная модель управления подсистемой резерва;

$M_{СОРез}$ – имитационная модель специализированного оборудования подсистемы резерва.

Строго говоря, подсистема управления СВС по иерархии подчиняется старшей управляющей системе, которая на нее воздействует, но для уменьшения размерности решаемой задачи этот факт вводится в разряд ограничений. Такое положение вполне допустимо в ходе построения имитационной модели.

В свою очередь, имитационные модели специализированного оборудования подсистем узлов (станций), линий связи, обеспечения, резерва выражаются в виде:

$$\left. \begin{aligned} M_{\text{COY}_3} &= M_{\text{COY}_3}^1, M_{\text{COY}_3}^2, \dots, M_{\text{COY}_3}^{i_1}, M_{\text{COY}_3}^{N_{\text{COY}_3}}, \\ M_{\text{COЛC}} &= M_{\text{COЛC}}^1, M_{\text{COЛC}}^2, \dots, M_{\text{COЛC}}^{i_2}, M_{\text{COЛC}}^{N_{\text{COЛC}}}, \\ M_{\text{COO6}} &= M_{\text{COO6}}^1, M_{\text{COO6}}^2, \dots, M_{\text{COO6}}^{i_3}, M_{\text{COO6}}^{N_{\text{COO6}}}, \\ M_{\text{COPe3}} &= M_{\text{COPe3}}^1, M_{\text{COPe3}}^2, \dots, M_{\text{COPe3}}^{i_4}, M_{\text{COPe3}}^{N_{\text{COPe3}}} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

где $M_{\text{COY}_3}^{i_1}$ – имитационная модель i_1 -го элемента подсистемы узлов (станций);
 $M_{\text{COЛC}}^{i_2}$ – имитационная модель i_2 -го элемента подсистемы линий связи;
 $M_{\text{COO6}}^{i_3}$ – имитационная модель i_3 -го элемента подсистемы обеспечения;
 $M_{\text{COPe3}}^{i_4}$ – имитационная модель i_4 -го элемента подсистемы резерва.

Подставив (2), (3) в (1) получаем трехуровневую имитационную модель СВС:

$$\begin{aligned} M_{\text{CBC}} &= \langle M_{\text{ПУпр}}, \langle M_{\text{ПУпр1}}, \langle M_{\text{COY}_3}^1, M_{\text{COY}_3}^2, \dots, M_{\text{COY}_3}^{N_{\text{COY}_3}} \rangle \rangle, \\ &\langle M_{\text{ПУпр2}}, \langle M_{\text{COЛC}}^1, M_{\text{COЛC}}^2, \dots, M_{\text{COЛC}}^{N_{\text{COЛC}}} \rangle \rangle, \\ &\langle M_{\text{ПУпр3}}, \langle M_{\text{COO6}}^1, M_{\text{COO6}}^2, \dots, M_{\text{COO6}}^{N_{\text{COO6}}} \rangle \rangle, \\ &\langle M_{\text{ПУпр4}}, \langle M_{\text{COPe3}}^1, M_{\text{COPe3}}^2, \dots, M_{\text{COPe3}}^{N_{\text{COPe3}}} \rangle \rangle. \end{aligned} \quad (4)$$

Графическое изображение трехуровневой имитационной модели СВС (4) представлено на рис. 1.

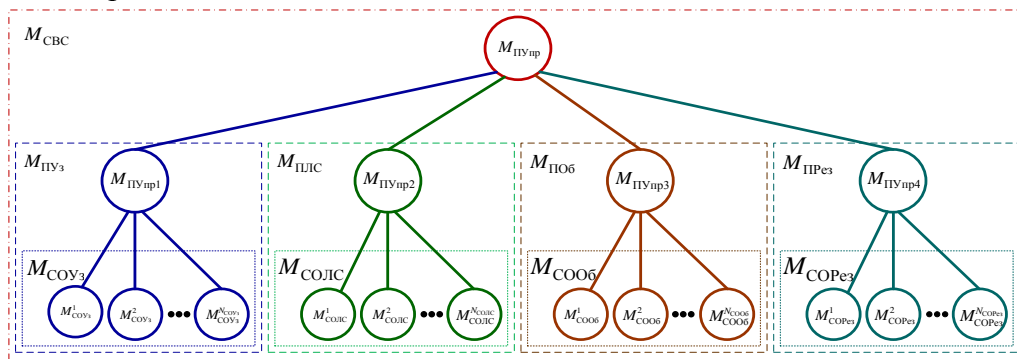


Рис. 1. Структура трехуровневой имитационной модели сети военной связи

Рассмотрим взаимодействия между элементами модели M_{CBC} , используя уравнение «вход-выход» моделей (1)-(4) и общий подход к моделированию связей между моделями, представленными сетью Петри (рис. 1), на котором сеть Петри показана в виде макроперехода t^i (прямоугольник на рис. 2). При этом мы допускаем, что из внешнего окружения помещаются маркеры в позиции $P_{jik} (k = \overline{1, K_i})$, соответствующие входным условиям сети Петри, а маркеры, появившиеся в выходных позициях сети Петри $P_{Oli} (l = \overline{1, L_i})$, удаляются оттуда. При таком подходе любая сеть может рассматриваться как макропереход модели более высокого уровня. С другой стороны, переход может детализироваться в форме отдельной подсети для более полного исследования аспектов моделируемой системы.

Модель M_{CBC} представим в виде входов и выходов моделей подсистем, ее составляющих, и определяемых позициями $P_{jk}^i, (k = \overline{1, K_i})$ и $P_{Ol}^i, (l = \overline{1, L_i})$ макропереходов t^i

соответственно, $i = \overline{1, 4}$. Подсистема узлов (станций) определяется при $i = 1$, подсистема линий связи при $i = 2$, подсистема обеспечения при $i = 3$, подсистема резерва при $i = 4$. Основные характеристики маркеров позиций (ХМП(Р)) имеют описание и значения, представляемые, как правило, в табличной форме для конкретной СВС.

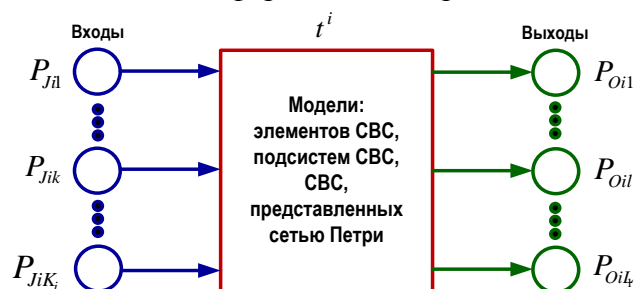


Рис. 2. Моделирование связей между подсистемами, представленными сетью Петри

Модель $M_{ПУпр}$ представлена в $M_{СВС}$ в виде управляющей программы, задающей значения ХМП(Р) входов имитационной модели подсистемы управления подсистемами СВС, такими как: виды услуг связи, виды родов связи, способы предоставления услуг связи, пропускная способность линий и направлений связи, устойчивость функционирования, количество специализированного оборудования, характеристики функционирования подсистем, внешние, случайные и преднамеренные воздействия на СВС соответствующих моделей в динамике.

Для соединения входов и выходов моделей подсистем СВС используется оператор $\tilde{R}(t)$, который представляется в виде матрицы связей позиций макропереходов t^i .

Выражения (1-4) и представленные в табличном виде ХМП(Р) и $\tilde{R}(t)$ есть ничто иное, как морфологическая модель СВС, описывающая состав и функционирование ее подсистем.

С точки зрения моделей $M_{СВС}$ и $M_{ПУ3}$ функционирование $M_{ПУ3}^i$ определяется изменением множества маркеров позиций макроперехода t^i и изменением характеристик этих маркеров. Характеристики маркеров имитационной модели специализированного оборудования для i_1 -ой технологической операции $M_{ПУ3}^i$, позволяют представить макропереход (модель) t^i в виде отдельного модуля, инвариантного относительно изменения множества применяемого специализированного оборудования и множества технологических операций, выполняемых на этом оборудовании.

Таким образом, $M_{ПУ3}^i$ представляет собой модель инвариантного модуля, описывающего функционирование i_1 -ой технологической операции. Для $M_{СВС}$ и $M_{ПУ3}$ настройка инвариантного модуля на конкретную модель осуществляется при помощи изменения внутренних параметров $M_{ПУ3}^i$. Определяя значения маркеров во входных позициях $M_{ПУ3}^i$ можно осуществить автономную проверку работоспособности полученной модели по значениям маркеров в позициях выхода модели $M_{ПУ3}^i$.

Аналогичным образом можно выделить инвариантные модули, описывающие работу специализированного оборудования подсистем линий, обеспечения и их систем управления. Следовательно, для получения имитационной модели $M_{СВС}$ – выражение (1), надо разработать:

программу, реализующую взаимодействие подсистем $M_{СВС}$;

инвариантные модули, представляющие подсистемы узлов (станций) $M_{ПУ3}$, линий связи $M_{ПЛС}$, управления $M_{ПУпр}$, обеспечения $M_{ПОб}$, резерва $M_{ПРез}$;

инвариантные модули, описывающие функционирование специализированного оборудования узлов (станций) – $M_{ПУ3}^i$, линий связи – $M_{ПЛС}^i$, обеспечения – $M_{ПОб}^i$, резерва – $M_{ПРез}^i$.

Для построения $M_{СВС}$, в виде сети Петри, необходимо создать логическую схему получения структуры имитационной модели СВС на основе дерева функций системы.

Структуризация имитационной модели сети военной связи

Для проведения указанной операции рассмотрим алгоритм построения структуры имитационной модели функционирования СВС, заключающийся в формировании структуры сети Петри на основе дерева функций рассматриваемой сети [4]. Дерево функций СВС состоит из дерева функций подсистем узлов (станций), линий связи, управления, обеспечения и резерва. Рассмотрим связь дерева функций с основными элементами сети Петри – позициями и переходами.

Построение модели СВС основывается на анализе совокупности всех ее функций и определении количественных характеристик отдельных показателей качества сети. Кроме того, должны быть определены функции отдельных подсистем сети, которые определяют функции, возлагаемые на элементы подсистем. Таким образом, будем исходить из того, что функции сети представляют интегрированную совокупность функций отдельных элементов, образующих СВС. При этом целостные свойства рассматриваемой сети будем обеспечивать формированием дерева функций, представляющего декомпозицию ее целевой функции.

Основные и дополнительные функции сети, реализуемые отдельными подсистемами, формируются в процессе декомпозиции. При синтезе структуры модели, СВС представляется в виде обобщенного целевого оператора Π^0 , определяющего правило преобразования входных воздействий и состояния сети в ее реакцию.

Из анализа причинно-следственных связей между входами, выходами и состоянием рассматриваемой сети формируется совокупность операторов Π_k^1 СВС. Каждому из этих операторов ставятся в соответствие входы и выходы СВС первого уровня. Операторы Π_k^1 представляют собой результат декомпозиции оператора Π^0 :

$$\Pi^0 = \bigcup_{k=1, \bar{K}} \Pi_k^1. \quad (5)$$

Аналогично, операторы Π_k^1 могут быть декомпозированы на элементарные операторы, которые, в свою очередь, также могут быть декомпозированы. Таким образом, при K уровнях декомпозиции:

$$\Pi^0 = \bigcup_{k=1, \bar{K}} \bigcup_{n_1=1, \bar{N}} \bigcup_{n_2=1, \bar{N}_2} \dots \bigcup_{n_k=1, \bar{N}_k} \Pi_{n_1, n_2, \dots, n_k}^k, \quad (6)$$

где $N_1 = f_1(k)$; $N_2 = f_2(k, N_1)$; ...; $N_k = f_k(k, N_1, N_2, \dots, N_{k-1})$.

Глубина декомпозиции определяется априорными сведениями о существенных параметрах моделируемой сети, которые должны быть учтены, а также результатами анализа поведения сети, автономных и комплексных проверок функционирования подсистем и СВС в целом. При этом иерархия операторов предполагает, что цели нижнего уровня иерархии подчинены целям верхнего уровня, т. е. цели верхнего уровня не могут быть достигнуты, пока не достигнуты все цели ближайшего нижнего уровня.

Полученная таким образом иерархия целей при введении в нее структурных элементов, функции которых состоят в реализации соответствующих элементарных подцелей, составляет базу для синтеза структуры сети Петри исследуемой СВС.

Рассмотренный переход от дерева целей к структуре модели позволяет сформировать древовидный граф модели исследуемой сети, в котором нижнему уровню дерева целей соответствуют элементарные сети Петри, ориентированные на выполнение элементарных функций. В общем случае, в зависимости от глубины декомпозиции, каждой элементарной сети Петри соответствует либо один выходной технологический параметр (уровень элементарных функций-целей), либо группа параметров (уровень агрегированных функций-целей).

Древовидный граф модели обычно имеет нерегулярную структуру. Тогда верхнему (нулевому) его уровню соответствует модель «черный ящик», совокупности операторов среднего уровня – модель «серый ящик», совокупности операторов нижнего уровня – модель «белый ящик». При этом для каждого уровня декомпозиции справедливы соотношения (1) – (4).

Далее будет рассмотрена взаимосвязь основных элементов логической схемы построения имитационной модели СВС в виде сети Петри на основе дерева функций системы. Описание выполняется в виде логических схем алгоритмов [5, 6].

Логическая схема построения структуры имитационной модели СВС представлена на рис. 3, где каждая вершина определяется в виде некоторого оператора. Классы операторов на рис. 3 обозначены следующим образом: функциональные – A_i , логические – P_i , входа и выхода – S_i , параллельного выполнения ветвей – Π_i .

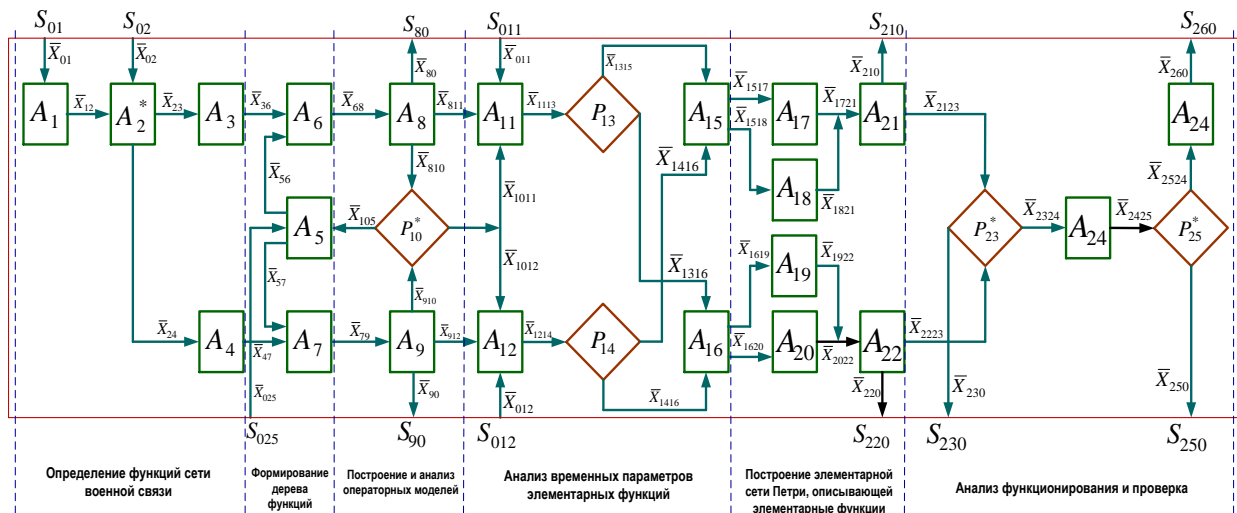


Рис. 3. Логическая схема построения структуры имитационной модели сети военной связи в виде сети Петри, на основе дерева функций системы

Часть операторов процесс преобразования информации осуществляют с участием проектировщика, либо в качестве эксперта, либо в качестве лица, принимающего решение. Операторы такого типа отмечены знаком (*).

Общая цель U^0 построения имитационной модели СВС, сформулированная в виде технического задания, поступает на оператор входа S_{01} , который формирует исходный вектор информации $\bar{X}_{01} = \{\text{исследование функционирования сети на заданном промежутке времени при определенных исходных данных: назначение сети; задачи, решаемые в ходе функционирования сети; требования к связи; требования к СВС; задачи и требования по управлению, обеспечению; задачи резерва сил и средств связи и т. п.}\}$ и передает ее оператору A_1 .

Оператор A_1 осуществляет анализ технического задания и определяет множество целей $\{U_k^1\}$, которые необходимо осуществить для достижения цели имитационного моделирования: $A_1 \bar{X}_{01} = \bar{X}_{12}$, ($\bar{X}_{12} = \{U_k^1\}$).

Входной поток информации для оператора A_2 определяется векторами \bar{X}_{02} , определяющими множество базовых и дополнительных функций системы, аналогичных рассматриваемой СВС, и $\bar{X}_{12} = \{U_k^1\}$.

Оператор A_2 осуществляет диагностический анализ U_k^1 создаваемой имитационной модели и формирует данные $\bar{X}_{23} = \{BU_k^1\}$, $\bar{X}_{24} = \{CU_k^1\}$ для операторов A_3 и A_4 . Оператор A_3 определяет множество базовых функций СВС. Он формируется на основе требований к входным и выходным инфокоммуникационным потокам и правилам их преобразования, алгоритмам функционирования сети. Оператор A_4 выделяет типовые дополнительные

функции и учитывает возможности возникновения нежелательных и недопустимых ситуаций. Оператор S_{025} – определяет начальные данные для декомпозиции функций сети, например, количество уровней декомпозиции сети прототипа. Оператор A_5 – определяет число уровней декомпозиции множества базовых и дополнительных функций анализируемой СВС, а также формирует данные \bar{X}_{36} и \bar{X}_{47} для декомпозиции сети. Векторные величины \bar{X}_{36} , \bar{X}_{47} совместно с выходными данными \bar{X}_{56} и \bar{X}_{57} оператора A_5 являются необходимой предпосылкой для выполнения декомпозиции множества базовых (A_6) и дополнительных (A_7) функций СВС на элементарные, в трактовке создаваемой модели, функции.

Полученные таким образом элементарные функции описываются операторными формами A_8 , A_9 для анализа правильности декомпозиции сети (P_{10}^*) и проверки совместного взаимодействия полученных моделей на уровне «вход-выход». При обнаружении неточности описания выполняется возврат к оператору A_5 .

Проведение анализа операторных моделей позволяет провести оценку качества декомпозиции базовых и дополнительных функций сети. Кроме того, дает возможность проверить соответствие определенных в процессе декомпозиции и построенных операторных моделей уровню детализации и обеспечить функционирование моделей каждого уровня с учетом иерархии организации сети. Переход с нижнего уровня на верхний уточняет связи между отдельными компонентами. При положительном результате анализа, элементарные функции описываются операторами A_{11} (базовые), A_{12} (дополнительные) в виде непримитивных событий (с учетом временных параметров функций, определяемых техническими и технологическими характеристиками элементов сети – операторы S_{011} , S_{012}) и примитивных событий теории сетей Петри. Операторы P_{13} и P_{14} классифицируют события на примитивные – A_{15} и непримитивные – A_{16} . Операторы A_{17} – A_{20} определяют: предусловия непримитивных событий (A_{17}), постусловия непримитивных событий (A_{18}), предусловия примитивных событий (A_{20}), постусловия примитивных событий (A_{19}). Операторы A_{21} и A_{22} определяют правила выполнения непримитивных (A_{21}) и примитивных (A_{22}) переходов, изменение предусловий и постусловий. Элементарным функциям ставятся в соответствие переходы t_k ($k = \overline{1, K}$) сети Петри. Предусловиям выполнения переходов соответствует множество позиций $I(t_k)$:

$$I(t_k) = \{p_{lkl}\} \quad (k = \overline{1, K}, l = \overline{1, L_k}), \quad (7)$$

а постусловиям выполнения переходов t_k – множество позиций $O(t_k)$:

$$O(t_k) = \{p_{okj}\} \quad (k = \overline{1, K}, j = \overline{1, J_k}), \quad (8)$$

правила выполнения элементарных функций (срабатывание переходов), которые связывают изменения предусловий $I(t_k)$ перехода t_k с изменением постусловий $O(t_k)$. Наличие условий в позициях (или их отсутствие) характеризуется метками, несущими определенный набор атрибутов. Порядок изменения количества меток и их атрибутов определяется элементарными функциями анализируемой сети.

Задача оператора P_{23} – анализ функционирования полученных сетей Петри элементарных функций, а оператора A_{24} – формирование сети Петри подсистем верхних уровней и всей СВС в целом. Для оценки пригодности получаемой модели на сетях Петри верхних уровней проводятся автономные проверки их функционирования.

Вместе с тем, проведенный в ходе построения модели сети анализ не защищает от внутренних ошибок самого описания, которые делают его «некорректным». Ошибки описания могут проявляться в неразрешимых ситуациях, которые не позволяют довести выполнение анализируемой сети до конца. Некорректности описания распознают и устраняют в результате формального анализа моделей, который включает исследование свойств самой сети Петри, в том числе и способа прописки позиций и переходов этой сети. Если сеть Петри работоспособна и не

содержит неразрешимых противоречий, то при любых последовательностях маркировок сети не возникает коллизий и повторного выполнения незавершенных операций.

В терминах логических схем алгоритмов процесс построения имитационной модели СВС в виде сети Петри на основе дерева функций имеет вид:

$$S_{01}A_1S_{02}A_2\Pi(\bar{X}_{23}, \bar{X}_{24})[\bar{X}_{23}]A_3[\bar{X}_{24}]A_4W(\bar{X}_{23}, \bar{X}_{24})S_{025}\downarrow_1 A_5\Pi(\bar{X}_{56}, \bar{X}_{57})$$

$$[\bar{X}_{56}]\{A_6A_8\Pi(\bar{X}_{80}, \bar{X}_{810}, \bar{X}_{811})[\bar{X}_{80}]S_{80}[\bar{X}_{810}]P_{10}\uparrow^1[\bar{X}_{811}]S_{011}A_{11}P_{13}\uparrow^3\downarrow_2 A_{15}$$

$$\Pi(\bar{X}_{1517}, \bar{X}_{1518})[\bar{X}_{1517}]A_{17}[\bar{X}_{1518}]A_{21}\Pi(\bar{X}_{210}, \bar{X}_{2123})[\bar{X}_{210}]S_{210}[\bar{X}_{2123}]P_{23}\uparrow^1\}[\bar{X}_{57}] \quad (9)$$

$$\{A_7A_9\Pi(\bar{X}_{90}, \bar{X}_{910}, \bar{X}_{912})[\bar{X}_{90}]S_{90}[\bar{X}_{910}]P_{10}\uparrow^1[\bar{X}_{912}]S_{012}A_{12}P_{14}\uparrow^2\downarrow_3 A_{16}\Pi(\bar{X}_{1619},$$

$$\bar{X}_{1620})[\bar{X}_{1619}]A_{19}A_{22}\Pi(\bar{X}_{220}, \bar{X}_{2223})[\bar{X}_{220}]S_{220}[\bar{X}_{2223}]P_{23}\uparrow^1 A_{24}P_{25}\uparrow^1 A_{26}S_{260}\},$$

где $\Pi(\bar{X}_1, \bar{X}_2, \dots, \bar{X}_k)$ – оператор параллельного выполнения ветвей с именами $\bar{X}_1, \bar{X}_2, \dots, \bar{X}_k$; $W(\bar{X}_1, \bar{X}_2, \dots, \bar{X}_k)$ – оператор условия, определяющий порядок выполнения оператора, стоящего справа от него (выполнение возможно при условии, что выполнение ветвей, с именами $\bar{X}_1, \bar{X}_2, \dots, \bar{X}_k$, уже закончено).

Выходными операторами в выражении (9) являются S_{80} с вектором данных $\bar{X}_{80} = \{\text{операторные модели базовых функций, выраженных через элементарные функции}\}$, S_{90} с вектором $\bar{X}_{90} = \{\text{операторные модели дополнительных функций, выраженных через элементарные функции}\}$. Указанные модели позволяют осуществить предварительное исследование структурных свойств СВС. Выходные операторы S_{210} и S_{220} представляют собой элементарные сети Петри элементарных функций и сети Петри подсистем СВС. S_{230} и S_{250} – диагностические операторы для возврата в A_5 при обнаружении ошибок анализа полученных сетей Петри. На выходе S_{260} формируется структура сети Петри СВС для построения динамической модели и имитационной модели функционирования СВС. Сказанное можно обобщить в виде логической структуры (схемы), приведенной на рис. 4.

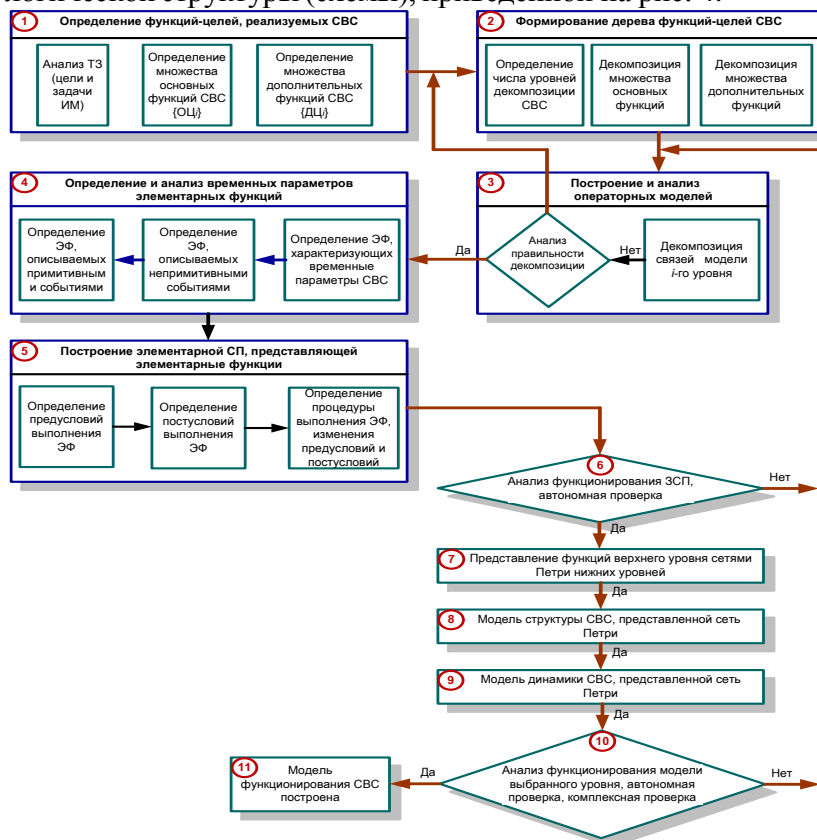


Рис. 4. Логическая схема построения модели динамики сети военной связи на основе теории сетей Петри

Интересным является частный алгоритм, реализующий построение структуры имитационной модели СВС в виде модулей, рассмотренных выше:

$$S_{025} \downarrow_1 A_5 \Pi(\bar{X}_{56}, \bar{X}_{57})[\bar{X}_{56}] \{A_6 A_8 \Pi(\bar{X}_{80}, \bar{X}_{810})[\bar{X}_{80}] S_{80} [\bar{X}_{810}] P_{10} \uparrow^1\} [\bar{X}_{57}], \quad (10)$$

$$\{A_7 A_9 \Pi[\bar{X}_{90}, \bar{X}_{910}] [\bar{X}_{90}] S_{90} [\bar{X}_{910}] P_{10} \uparrow^1\}^1 S_{80} S_{90}.$$

Этот алгоритм позволяет представить иерархическую модульную структуру модели из элементов и подсистем СВС.

Представленная логическая схема создания структуры имитационной модели СВС в виде сети Петри, на основе дерева функций системы, позволяет получить сеть Петри СВС по частям, отдельно для каждой подсистемы сети и осуществить ее автономную проверку, что особенно важно при создании имитационных моделей функционирования сложных систем.

Формализация имитационной модели сети военной связи

Для формализации модели, описывающей реализацию функции-цели $\Pi_{n_1, n_2, \dots, n_i}^i$ рассматриваемой на i -ом уровне иерархии в виде сети Петри, возьмем элементарные функции $\Pi_{n_1, n_2, \dots, n_i, n_1', n_2', \dots, n_i'}^i$, определяющие $\Pi_{n_1, n_2, \dots, n_i}^i$ и представляющие также фрагмент древовидной структуры. Этот фрагмент представляет собой n -ю подсистему СВС, рассматриваемую на i -ом уровне иерархии и выполняющую функцию-цель $\Pi_{n_1, n_2, \dots, n_i}^i$ СВС. Для упрощения обозначений, переходы, описывающие элементарные функции-цели $\Pi_{n_1, n_2, \dots, n_i}^i$, будем представлять в виде:

$$t_{nk}^i = Y_{nk}^i(O_n^1, Z_n^1, \Pi_n^1), \quad (i = \overline{1, I}), \quad (n = \overline{1, N_i}), \quad (k = \overline{1, K_n^i}), \quad (11)$$

где i – рассматриваемый уровень иерархии;

O_n^i – количество уровней иерархии;

N_i – количество объектов O_n^i в подсистеме i -го уровня;

K_n^i – количество переходов в объекте с номером n ;

Z_n^i – задачи, решаемые имитационной моделью для объекта O_n^i на i -ом уровне иерархии;

Π_n^i – функции, реализуемые n -ой подсистемой на i -ом уровне иерархии.

Каждому переходу t_{nk}^i поставим в соответствие множество входных позиций $\{P_{lnkj}^i\}$ и множество выходных позиций $\{P_{Onkl}^i\}$ сети Петри, так, что:

$$\left. \begin{aligned} P_{lnkj}^i &= F_{lnkj}^i(t_{nk}^i, \tau), \quad (n = \overline{1, N_i}), \quad (k = \overline{1, K_n^i}), \quad (j = \overline{1, J_{nk}^i}), \\ P_{Onkl}^i &= F_{Onkl}^i(t_{nk}^i, \tau), \quad (n = \overline{1, N_i}), \quad (k = \overline{1, K_n^i}), \quad (l = \overline{1, L_{nk}^i}) \end{aligned} \right\}, \quad (12)$$

где J_{nk}^i – множество входных позиций перехода t_{nk}^i ; L_{nk}^i – множество выходных позиций перехода t_{nk}^i ; τ – модельное время; $F_{lnkj}^i(t_{nk}^i, \tau)$ и $F_{Onkl}^i(t_{nk}^i, \tau)$ – операторы входа и выхода перехода t_{nk}^i .

Условия срабатывания перехода t_{nk}^i , в общем случае, определяются атрибутами входных и выходных меток (входными и выходными переменными функции-цели $O_{n_1, n_2, \dots, n_i, n_1', n_2', \dots, n_i'}^i$ во входных и выходных позициях перехода и их количеством:

$$\left. \begin{aligned} \mu(p_{lnkj}^i, \tau_+) &= M_{lnkj}^i(\{A(p_{lnkjv}^i, \tau_-)\}, \{A(p_{Onkvw}^i, \tau_-)\}, \tau_-), \\ \mu(p_{Onkl}^i, \tau_+) &= M_{Onkl}^i(\{A(p_{lnkjv}^i, \tau_-)\}, \{A(p_{Onklw}^i, \tau_-)\}, \tau_-), \\ A(p_{lnkj}^i, \tau_+) &= \Pi_{nk}^i(\{A(p_{lnkjv}^i, \tau_-)\}, \{A(p_{Onklw}^i, \tau_-)\}, \tau_-) \end{aligned} \right\}, \quad (13)$$

где $\mu(p_{lnkj}^i, \tau_+)$, $\mu(p_{Onkl}^i, \tau_+)$ – количество меток во входных (p_{lnkj}^i) и выходных (p_{Onkl}^i) позициях перехода t_{nk}^i после его срабатывания (τ_+); $\{A(p_{lnkj}^i, \tau_-)\}, \{A(p_{Onkl}^i, \tau_-)\}$ – множество атрибутов меток во входных и в выходных позициях перехода до его срабатывания; $(v=1, \overline{V_{lnkj}^i})$ – количество атрибутов меток во входной позиции p_{lnkj}^i ; $(w=1, \overline{W_{Onkl}^i})$ – количество атрибутов меток в выходной позиции p_{Onkl}^i ; M_{lnkj}^i и M_{Onkl}^i – операторы изменения количества меток во входных и в выходных позициях перехода t_{nk}^i после его срабатывания; Π_{nk}^i – оператор изменения атрибутов выходных меток перехода t_{nk}^i после его срабатывания.

Изменения атрибутов меток сети Петри, определяющих функциональное назначение подсистем СВС, задаются операторами Π_{nk}^i , реализующими инвариантные свойства имитационной модели функционирования СВС.

Для рассматриваемого i -го уровня иерархии имеем:

$$F^i = U_{n,k} \left(\left(U_j F_{lnkj}^i \right) U_l \left(U_l F_{Onkl}^i \right) \right), \quad (14)$$

где F^i – множество операторов, определяющих входные и выходные позиции переходов, рассматриваемых на i -ом уровне:

$$M^i = U_{n,k} \left(\left(U_j M_{lnkj}^i \right) U_l \left(U_l M_{Onkl}^i \right) \right), \quad (15)$$

где M^i – множество операторов, определяющих изменение меток в позициях, рассматриваемых на i -ом уровне;

$$\Pi^i = U_{n,k} \Pi_{nk}^i, \quad (16)$$

где Π^i – множество операторов, определяющих изменение атрибутов меток в выходных позициях переходов, рассматриваемых на i -ом уровне;

$$O^i = U_n O_n^i, \quad (17)$$

где O^i – множество объектов, рассматриваемых на i -ом уровне;

$$\Pi^i = U_n \Pi_n^i, \quad (18)$$

где Π^i – множество функций реализуемых, на i -ом уровне иерархии.

Выражения (12), (13) с учетом (14)–(18) определяют множество сетей Петри описывающих события на i -ом уровне иерархии сети, что можно представить в виде кортежа:

$$C^i = \langle O^i, \Pi^i, F^i, M^i, \Pi^i \rangle. \quad (19)$$

Поскольку сети Петри, определяемые выражением (19), не образуют единого целого, то для того чтобы учесть системные свойства на i -ом уровне иерархии, введем в (19) дополнительную сеть Петри C_0^i , получаемую из (12)–(18) при $n=0$:

$$C^i = \langle C_0^i, O^i, \Pi^i, F^i, M^i, \Pi^i \rangle. \quad (20)$$

Выражение (20) с учетом (12)–(18) определяет сеть Петри, описывающую уже взаимосвязанные события, происходящие в СВС на i -ом уровне иерархии.

Обобщенная сеть Петри для всей СВС получается объединением (20) для всех $i = \overline{1, I}$ с сетью Петри C_0 , выполняющей агрегирующую функцию для всей системы:

$$C = \langle C_0, \bigcup_{i=1}^I C^i \rangle. \quad (21)$$

Сеть Петри, определяемая выражением (10), содержит примитивные ($\Delta\tau_{nk}^i = 0$) и непримитивные ($\Delta\tau_{nk}^i \neq 0$) переходы. Для перехода t_{nk}^i , описывающего непримитивное событие и имеющего продолжительность выполнения $\Delta\tau_{nk}^i \neq 0$, необходимо помимо модельного времени учитывать также время $\overline{\Delta\tau_{nk}^i}(\tau)$, оставшееся до окончания активного непримитивного события:

$$\overline{\Delta\tau_{nk}^i}(\tau) = T_{nk}^i(\tau, \{\Delta\tau_{nk_1}^{i_1}\}, \{\overline{\Delta\tau_{nk_2}^{i_2}}(\tau)\}) \quad (22)$$

$$i = \overline{0, I}, i_1 = \overline{0, I}, i_2 = \overline{0, I}, n = \overline{0, N^i}, k = \overline{0, K_n^i}, k_1 = \overline{0, K_n^i}, k_2 = \overline{0, K_n^i},$$

где T_{nk}^i – оператор определения времени, оставшегося до окончания непримитивного события, описываемого переходом t_{nk}^i .

Определение модельного времени τ' задается оператором Π_τ :

$$\tau = \Pi_\tau(\tau, \{\Delta\tau_k, \overline{\Delta\tau_k}(\tau)\}), \quad k = \overline{1, K}, \quad (23)$$

где K – число переходов сети Петри рассматриваемой СВС.

Для выполнения полученной сети необходимо задать начальные условия, которые определяются количеством и атрибутами меток в позициях сети Петри в начальный момент времени:

$$\mu_0 = \{\mu(p_{lnkj}^i, \tau = 0), \mu(p_{Onkl}^i, \tau = 0)\}, \quad (24)$$

$$A_0 = \{A(p_{lnkj}^i, \tau = 0), A(p_{Onkl}^i, \tau = 0)\},$$

$$M_0 = \{\mu_0, A_0\}. \quad (25)$$

Они определяются начальными условиями реализации функции цели СВС. С учетом (24), (25) выражение (21) представляется в виде:

$$C = \left(C_0, \bigcup_{i=1}^I C^i, M_0, \tau \right), \quad (26)$$

которое определяет математическую модель модуля имитационной модели на базе сетей Петри, инвариантного относительно элементов и подсистем СВС различного функционального назначения.

Алгоритмизация имитационной модели сети военной связи

В этом случае будем исходить из того, что состояние модели в каждый момент времени τ_m определяется ее динамическим портретом $\pi(\tau_m)$ [7].

Динамический портрет $\pi(\tau_m)$ СВС представляет собой состояние множества позиций $\{p_{lnkj}^i(\tau_m), p_{Onkl}^i(\tau_m)\}$ сети Петри, определяющее выполнение переходов $t_{nk}^i \in \{t_{nk}^i\}$ сети Петри в момент времени τ_m :

$$\pi(\tau_m) = \{p_{lnkj}^i(\tau_m), p_{Onkl}^i(\tau_m)\}, \quad (27)$$

где $(i = \overline{1, I}), (n = \overline{1, N_i}), (k = \overline{1, K_n^i}), (j = \overline{1, J_{nk}^i}), (l = \overline{1, L_{nk}^i})$.

Множество переходов $\{t_{nk}^i\}$ сети Петри СВС состоит из множества переходов примитивных событий $\{t_{nk}^{iII}\}$, множества переходов начал непримитивных событий $\{t_{nk}^{iH}\}$ и множества переходов окончаний непримитивных событий $\{t_{nk}^{iO}\}$:

$$\{t_{nk}^i\} = \{t_{nk}^{iII}\} \cup \{t_{nk}^{iH}\} \cup \{t_{nk}^{iO}\}. \quad (28)$$

Характеристики переходов, модели представлены в табл. 1.

С учетом особенностей позиций и переходов сети Петри модели, выражение (27) можно представить в виде:

$$\pi(\tau_m) = \pi^{\Pi}(\tau_m) \cup \pi^H(\tau_m) \cup \pi^O(\tau_m), \tag{29}$$

где $\pi^{\Pi}(\tau_m) = \{p_{lnkj}^{i\Pi}(\tau_m), p_{Onkl}^{i\Pi}(\tau_m)\}$ – позиции примитивных переходов, $\pi^H(\tau_m) = \{p_{lnkj}^{iH}(\tau_m), p_{Onkl}^{iH}(\tau_m)\}$ – позиции начала непримитивных переходов, $\pi^O(\tau_m) = \{p_{lnkj}^{iO}(\tau_m), p_{Onkl}^{iO}(\tau_m)\}$ – позиции окончания непримитивных переходов, $(i \in \overline{1, I}), (n \in \overline{1, N_i}), (k \in \overline{1, K_n^i}), (j \in \overline{1, J_{nk}^i}), (l \in \overline{1, L_{nk}^i})$.

Таблица 1 – Характеристики переходов имитационной модели СВС

Характеристики переходов сети Петри СВС					
Примитивные события		Непримитивные события			
Множество предусловий	Множество переходов	Начало непримитивного события		Окончание непримитивного события	
		Множество предусловий	Множество переходов	Множество предусловий	Множество переходов
$\{p_{lnkj}^{i\Pi}(\tau_m)\}$	$\{t_{nk}^{i\Pi}\}$	$\{p_{lnkj}^{iH}(\tau_m)\}$	$\{t_{nk}^{iH}\}$	$\{p_{Onkl}^i(\tau_m)\}$	$\{t_{nk}^{iO}\}$
$\Delta t_{nk}^i = 0$		$\Delta t_{nk}^i \neq 0$			

Время между началом выполнения непримитивного перехода t_{nk}^{iH} и выполнением перехода окончания непримитивного события t_{nk}^{iO} – есть величина равная Δt_{nk}^i , это время определяется параметрами подсистем узлов (станций) и линий связи.

Выполнение хотя бы одного перехода $t_{nk}^i \in \{t_{nk}^i\}, (i \in \overline{1, I}), (n \in \overline{1, N_i}), (k \in \overline{1, K_n^i})$, при выполнении условий $\{p_{lnkj}^i(\tau_m), p_{Onkl}^i(\tau_m)\}, (i \in \overline{1, I}), (n \in \overline{1, N_i}), (k \in \overline{1, K_n^i}), (j \in \overline{1, J_{nk}^i}), (l \in \overline{1, L_{nk}^i})$ в момент τ_m за время $\delta\tau_m$ называется множеством реализаций переходов СВС, и будет обозначаться $\rho(\tau_m + \delta\tau_m) = \{t_{n^*k^*}^{i^*}\}$, а множество условий, осуществивших эту реализацию представим в виде:

$$\varepsilon(\tau_m + \delta\tau_m) = \{p_{ln^*k^*j^*}^{i^*}(\tau_m), p_{On^*k^*l^*}^{i^*}(\tau_m)\}, \tag{30}$$

где $(i^* \in \overline{1, I}), (n^* \in \overline{1, N_i}), (k^* \in \overline{1, K_n^i}), (j^* \in \overline{1, J_{nk}^i}), (l^* \in \overline{1, L_{nk}^i})$.

Рассмотрим, как могла бы реализоваться модель в классическом варианте выполнения сети Петри. Классические сети Петри, реализующие параллельные процессы, могут быть осуществлены заменой переходов сети физическими устройствами, выполняющими процедуру запуска переходов в соответствии с условиями, определяющими их реализацию. Если для множества переходов $\{t_{n^*k^*}^{i^*}\}$ осуществлено множество предусловий их выполнения $\{p_{ln^*k^*j^*}^{i^*}(\tau_m)\}$, то при этом произойдет изменение как самих предусловий $\{p_{ln^*k^*j^*}^{i^*}(\tau_m)\}$, так и связанных с этими переходами постусловий $\{p_{On^*k^*l^*}^{i^*}(\tau_m)\}$. На следующем шаге:

$$\{p_{ln^*k^*j^*}^{i^*}(\tau_{m+1})\} = \{p_{On^*k^*l^*}^{i^*}(\tau_m)\}, \tag{31}$$

и весь процесс выполнения сети Петри повторяется снова.

Для корректного выполнения сети Петри на однопроцессорном компьютере необходимо в момент времени τ_m проанализировать множество возможных реализаций переходов СВС $\rho(\tau_m + \delta\tau_m) = \{t_{n^*k^*}^{i^*}\}$, и множество условий, которые могут осуществить эту реализацию $\varepsilon(\tau_m + \delta\tau_m) = \{p_{ln^*k^*j^*}^{i^*}(\tau_m), p_{On^*k^*l^*}^{i^*}(\tau_m)\}$.

Множество возможных реализаций переходов сети $\rho(\tau_m + \delta\tau_m) = \{t_{n^*k^*}^{i^*}\}$ можно представить в виде:

$$\rho(\tau_m + \delta\tau_m) = \{t_{n^*k^*}^{i^*}\} = \{t_{n^*k^*}^{i^*P}\} \cup \{t_{n^*k^*}^{i^*H}\} \cup \{t_{n^*k^*}^{i^*O}\}. \quad (32)$$

Длительность примитивных событий, представляемых в сети Петри переходами $\{t_{n^*k^*}^{i^*P}\}$, равна нулю, и они не вносят вклад в расчет модельного времени. В результате циклического запуска переходов $\{t_{n^*k^*}^{i^*P}\}$ примитивных событий, остаются невыполненными только переходы непримитивных событий. Для выполнения непримитивных событий необходимо рассмотреть понятие очередной реализации СВС.

Пусть модель СВС, представленная сетью Петри, рассматривается на интервале времени $[\tau_m(\tau_m + \delta\tau_m)]$, когда в момент времени τ_m выполнены все переходы $\{t_{n^*k^*}^{i^*P}\}$ примитивных событий. За время $\delta\tau_m$ выполняется реализация $\rho^*(\tau_m + \delta\tau_m) = \{t_{n^*k^*}^{i^*}\}$ (состоящая из одного или нескольких выполненных переходов непримитивных событий) такая, что за время $\delta\tau_m$ в системе другие реализации не происходят, то $\rho^*(\tau_m + \delta\tau_m)$ будем называть очередной реализацией СВС для момента времени τ_m .

Заметим, что в общем случае за период $(\tau_m + \delta\tau_m)$ может выполняться несколько событий $\rho^*(\tau_m + \delta\tau_m)$.

Для нахождения времени $\delta\tau_{m+1}$ наступления очередной реализации непримитивного события в подсистемах узлов (станций) и линий связи относительно момента времени τ_m введем оператор $\Pi(\tau_m \{ \Delta\tau_{nk}^i, \overline{\Delta\tau_{nk}^i}(\tau_m) \} \pi(\tau_m))$, определяющий время $\delta\tau_m$ наступления очередной реализации в указанных подсистемах относительно времени τ_m , который определяется: модельным временем τ_m ; множеством времен выполнения непримитивных событий $\Delta\tau_{nk}^i$; множеством текущих времен выполнения непримитивных событий $\overline{\Delta\tau_{nk}^i}(\tau_m)$ и динамическим портретом $\pi(\tau_m)$ сети Петри СВС:

$$\delta\tau_{m+1} = \Pi(\tau_m \{ \Delta\tau_{nk}^i, \overline{\Delta\tau_{nk}^i}(\tau_m) \} \pi(\tau_m)), \quad (33)$$

$$\delta\tau_{m+1} = \min \{ \Delta\tau_{nk}^i, \overline{\Delta\tau_{nk}^i}(\tau_m) \}, \quad (i = \overline{1, I}), \quad (n = \overline{1, N_i}), \quad (k = \overline{1, K_n^i}), \quad (34)$$

где $i(\tau_m) = \arg \min \{ \Delta\tau_{nk}^i, \overline{\Delta\tau_{nk}^i}(\tau_m) \}$ – номер рассматриваемого уровня детализации СВС, в котором очередная реализация события доставляет $\min \{ \Delta\tau_{nk}^i, \overline{\Delta\tau_{nk}^i}(\tau_m) \}$ ($i = \overline{1, I}$), ($n = \overline{1, N_i}$), ($k = \overline{1, K_n^i}$) в момент τ_m на отрезке $\delta\tau_{m+1}$; $n(\tau_m) = \arg \min \{ \Delta\tau_{nk}^i, \overline{\Delta\tau_{nk}^i}(\tau_m) \}$ – номер объекта системы в котором очередная реализация события доставляет $\min \{ \Delta\tau_{nk}^i, \overline{\Delta\tau_{nk}^i}(\tau_m) \}$, ($i = \overline{1, I}$), ($n = \overline{1, N_i}$), ($k = \overline{1, K_n^i}$) в момент τ_m на отрезке $\delta\tau_{m+1}$; $\overline{\Delta\tau_{nk}^i}(\tau_{m+1}) = \overline{\Delta\tau_{nk}^i}(\tau_m) - \delta\tau_{m+1}$, $\Delta\tau_{nk}^i(\tau_{m+1}) = \Delta\tau_{nk}^i(\tau_m) - \delta\tau_{m+1}$, $\overline{\Delta\tau_{nk}^i}(\tau_{m+1}) = \overline{\Delta\tau_{nk}^i}(\tau_{m+1}) \neq 0 \cup \overline{\Delta\tau_{nk}^i}(\tau_{m+1}) \neq 0$

Это означает, что ближайшее событие, относительно момента τ_m , произойдет в переходе сети Петри $t_{n(\tau_m)k(\tau_m)}^{i(\tau_m)}$ в момент времени $\tau_{m+1} = \tau_m + \delta\tau_m$.

Пусть в начальный момент модельного времени τ_0 рассматривается функционирование СВС, представленное сетью Петри, известен динамический портрет $\pi(\tau_0)$ сети.

Анализируя и выполняя примитивные события сети Петри, получаем сеть Петри с возбужденными переходами непримитивных событий. При выполнении непримитивных событий определяем $\delta\tau_1$ – очередную реализацию переходов сети Петри описывающей СВС:

$\delta\tau_1 = \min\left(\{\Delta\tau_{nk}^i\}, \{\overline{\Delta\tau_{nk}^i}(\tau_0)\}\right)$ – первая очередная реализация сети Петри СВС;

$i^* \tau_0 = \arg \min\left(\{\Delta\tau_{nk}^i\}, \{\overline{\Delta\tau_{nk}^i}(\tau_0)\}\right)$ – номер рассматриваемого уровня объекта СВС, в котором очередная реализация непримитивного события доставляет $\min\left(\{\Delta\tau_{nk}^i\}, \{\overline{\Delta\tau_{nk}^i}(\tau_0)\}\right)$ в момент τ_0 на отрезке $\delta\tau_1$;

$n^* \tau_0 = \arg \min\left(\{\Delta\tau_{nk}^i\}, \{\overline{\Delta\tau_{nk}^i}(\tau_0)\}\right)$ – номер объекта СВС, в котором очередная реализация непримитивного события доставляет $\min\left(\{\Delta\tau_{nk}^i\}, \{\overline{\Delta\tau_{nk}^i}(\tau_0)\}\right)$ в момент τ_0 на отрезке $\delta\tau_1$;

$k^* \tau_0 = \arg \min\left(\{\Delta\tau_{nk}^i\}, \{\overline{\Delta\tau_{nk}^i}(\tau_0)\}\right)$ – номер перехода объекта, в котором достигается $\min\left(\{\Delta\tau_{nk}^i\}, \{\overline{\Delta\tau_{nk}^i}(\tau_0)\}\right)$ в момент τ_0 на отрезке $\delta\tau_1$.

При этом все портреты $\pi^H(\tau_0) = \{p_{lnkj}^{iH}(\tau_0), p_{Onkl}^{iH}(\tau_0), (\tau_0)\}$ и $\pi^O(\tau_0) = \{p_{lnkj}^{iO}(\tau_0), p_{Onkl}^{iO}(\tau_0), (\tau_0)\}$ не изменяются, кроме портретов $\pi^{*H}(\tau_0) = \{p_{ln^*k^*j^*}^{i^*H}(\tau_0), p_{On^*k^*l^*}^{i^*H}(\tau_0), (\tau_0)\}$ и $\pi^{*O}(\tau_0) = \{p_{ln^*k^*j^*}^{i^*O}(\tau_0), p_{On^*k^*l^*}^{i^*O}(\tau_0), (\tau_0)\}$, связанных с переходом $i^* \tau_0$, которые изменяются в момент модельного времени $\tau_1 = \tau_0 + \delta\tau_1$, ($i^* \in \overline{1, I}$), ($n^* \in \overline{1, N^i}$), ($k^* \in \overline{1, K_n^i}$), ($j^* \in \overline{1, J_{nk}^i}$), ($l^* \in \overline{1, L_{nk}^i}$).

Изменение портретов $\pi^{*H}(\tau_0)$ и $\pi^{*O}(\tau_0)$ определяется процедурами $p_{n^*k^*}^{i^*}$, выполнения множества реализаций переходов $\{i^* \tau_0\}$:

$$\left. \begin{aligned} \pi^H(\tau_1) &= p_{n^*k^*}^{i^*H}(\pi^{*H}(\tau_1), (\tau_1)), \\ \pi^O(\tau_1) &= p_{n^*k^*}^{i^*O}(\pi^{*O}(\tau_1), (\tau_1)) \end{aligned} \right\} \quad (35)$$

После преобразования динамических портретов, выполняется изменение модельного времени $\tau_1 = \tau_0 + \delta\tau_1$.

Для второго очередного события имеем:

$$\begin{aligned} \delta\tau_2 &= \Pi\left(\tau_1 \left\{ \Delta\tau_{nk}^i \right\}, \left\{ \overline{\Delta\tau_{nk}^i}(\tau_1) \right\}, \pi(\tau_1)\right), \\ \delta'\tau_2 &= \min\left(\{\Delta\tau_{nk}^i\}, \{\overline{\Delta\tau_{nk}^i}(\tau_1)\}\right), \\ i(\tau_2) &= \arg \min\left(\{\Delta\tau_{nk}^i\}, \{\overline{\Delta\tau_{nk}^i}(\tau_1)\}\right), \\ n(\tau_2) &= \arg \min\left(\{\Delta\tau_{nk}^i\}, \{\overline{\Delta\tau_{nk}^i}(\tau_1)\}\right), \\ k(\tau_2) &= \arg \min\left(\{\Delta\tau_{nk}^i\}, \{\overline{\Delta\tau_{nk}^i}(\tau_1)\}\right), \\ \pi^H(\tau_2) &= p_{n^*k^*}^{i^*H}(\pi^{*H}(\tau_1), (\tau_1)), \\ \pi^O(\tau_2) &= p_{n^*k^*}^{i^*O}(\pi^{*O}(\tau_1), (\tau_1)), \\ \overline{\Delta\tau_{nk}^i}(\tau_2) &= \overline{\Delta\tau_{nk}^i}(\tau_1) - \delta\tau_2, \\ \Delta\tau_{nk}^i(\tau_2) &= \Delta\tau_{nk}^i(\tau_1) - \delta\tau_2, \\ \left\{ \overline{\Delta\tau_{nk}^i}(\tau_2) \right\} &= \left\{ \overline{\Delta\tau_{nk}^i}(\tau_1) \neq 0 \right\} \cup \left\{ \Delta\tau_{nk}^i(\tau_1) \neq 0 \right\}, \\ \tau_1 &= \tau_0 + \delta\tau_1. \end{aligned}$$

Затем этот процесс повторяется на каждом шаге выполнения событий в имитационной модели до выполнения условий останова имитации.

Общий алгоритм динамического поведения имитационной модели СВС можно представить следующим образом. Для m -го очередного события имеем:

$$\delta\tau_{m+1} = \Pi\left(\tau_m \left\{ \Delta\tau_{nk}^i \right\}, \left\{ \overline{\Delta\tau_{nk}^i}(\tau_m) \right\}, \pi(\tau_m)\right),$$

$$\begin{aligned} \delta' \tau_{m+1} &= \min \left(\left\{ \Delta \tau_{nk}^i \right\}, \overline{\left\{ \Delta \tau_{nk}^i(\tau_m) \right\}} \right), \\ i(\tau_{m+1}) &= \arg \min \left(\left\{ \Delta \tau_{nk}^i \right\}, \overline{\left\{ \Delta \tau_{nk}^i(\tau_m) \right\}} \right), \\ n(\tau_{m+1}) &= \arg \min \left(\left\{ \Delta \tau_{nk}^i \right\}, \overline{\left\{ \Delta \tau_{nk}^i(\tau_m) \right\}} \right), \\ k(\tau_{m+1}) &= \arg \min \left(\left\{ \Delta \tau_{nk}^i \right\}, \overline{\left\{ \Delta \tau_{nk}^i(\tau_m) \right\}} \right), \\ \pi^H(\tau_{m+1}) &= p_{n^*k^*}^{i^*H} \left(\pi^{*H}(\tau_m), (\tau_m) \right), \\ \pi^O(\tau_{m+1}) &= p_{n^*k^*}^{i^*O} \left(\pi^{*O}(\tau_m), (\tau_m) \right), \\ \overline{\Delta \tau_{nk}^i(\tau_{m+1})} &= \overline{\Delta \tau_{nk}^i(\tau_m)} - \delta \tau_{m+1}, \\ \Delta \tau_{nk}^i(\tau_{m+1}) &= \Delta \tau_{nk}^i(\tau_m) - \delta \tau_{m+1}, \\ \overline{\left\{ \Delta \tau_{nk}^i(\tau_{m+1}) \right\}} &= \overline{\left\{ \Delta \tau_{nk}^i(\tau_{m+1}) \neq 0 \right\}} \cup \left\{ \Delta \tau_{nk}^i(\tau_{m+1}) \neq 0 \right\} \\ \tau_{m+1} &= \tau_m + \delta \tau_{m+1}. \end{aligned}$$

Когда $\tau_m > \tau_{\max}$, τ_{\max} – время окончания имитации, процесс заканчивается. Моменты $\tau_0, \tau_1, \tau_2, \dots$ изменения портретов СВС называются особыми состояниями. Изменения, происходящие в эти моменты, полностью определяют динамику модели сети. Именно последовательность указанных событий составляет сущность функционирования СВС.

В этом случае динамика модели фактически повторяет динамику сети, т. е. переход от одного события к другому, а соответствующая модель носит событийный характер. Приведенные выше выражения представляют описание динамического поведения имитационной модели СВС, представленной сетью Петри. При этом шаг модельного времени $\delta \tau_m$ зависит от очередного события модели СВС. Модель динамики особых состояний СВС предусматривает выполнение следующих действий (рис. 5): выбор событий в модели, которые необходимо обслужить или закончить при одном и том же модельном времени τ_m ; обслуживание событий, которые имеют минимальное время инициализации; по окончании обслуживания событий определение очередного значения модельного времени; корректировка модельного времени; проверка условий окончания моделирования либо по времени завершения имитации, либо по выполнению других событий в системе.

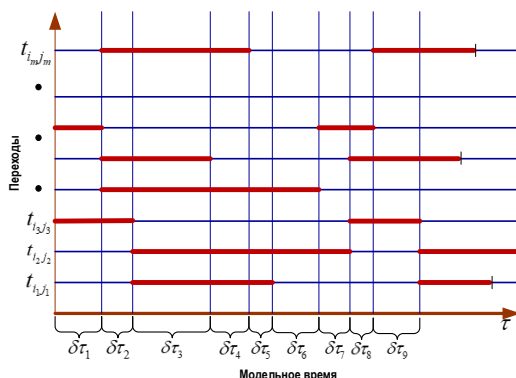


Рис. 5. Модель динамики особых состояний сети военной связи

Заключение

Имитационное математическое моделирование является довольно мощным инструментом системных исследований, вполне отвечающим тенденциям развития современных компьютерных технологий. Наряду с этим, этот вид моделирования достаточно сложен в своей практической реализации, требует больших временных затрат и предполагает достаточно высокую квалификацию исполнителей в области математики и программирования на компьютерах. К имитационным моделям следует обращаться тогда,

когда исследовательскую задачу невозможно сформулировать в виде аналитической математической модели или когда аналитические и численные решения становятся малоэффективными из-за их громоздкости и ограничений на вычислительные ресурсы.

Рассмотренный подход построения СВС показывает, что имитационное моделирование важно не только и не столько для получения количественных оценок, сколько для того, чтобы помочь исследователю (разработчику) разобраться в существе изучаемой (проектируемой) системы. Именно в этом заключается одна из важнейших функций математического имитационного моделирования.

Несомненно, что сети Петри, как инструмент исследования, позволяют адекватно описывать процессы функционирования весьма сложных многоуровневых иерархических систем, учитывать отличительные, индивидуальные особенности систем, позволяя при этом описывать асинхронность и параллелизм выполнения процессов и событий.

Литература

1. Моисеев А.А., Чуев А.В., Салюк Д.В., Киселев А.А. Инфокоммуникационная сеть, как объект системного анализа // Техника средств связи. 2019. № 1 (145). С. 150-158.
2. Каталевский Д.Ю. Основы имитационного моделирования и системного анализа в управлении. – М.: Издательский дом ДЕЛЮ, 2015. – 496 с.
3. Лескин А.А. и др. Сети Петри в моделировании и управлении. – Л.: Наука, 1989. – 133 с.
4. Бродский Ю.И. Распределенное имитационное моделирование сложных систем. Монография. – М.: Вычислительный центр им. А.А. Дородницына Российской Академии наук, 2010. – 156 с.
5. Булатов В.В. Введение в математические методы моделирования сложных систем. Монография. – М.: «ОнтоПринт», 2018. – 342 с.
6. Долгов А.И. Алгоритмизация прикладных задач. – М.: ФЛИНТА, 2016. – 136 с.
7. Трухин М.П. Моделирование сигналов и систем. Сетевые модели. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2018. – 204 с.

References

1. Moiseev A.A., Chuev A.V., Salyuk D.V., Kiselev A.A. Infokommunikacionnaja set', kak ob#ekt sistemnogo analiza [Infocommunication network, as an object of system analysis] // Communication technology. 2017 № 6 (145). 150-158 p. (In Russian). (in Russian).
2. Katalevskiy D.Yu. Osnovy imitacionnogo modelirovaniya i sistemnogo analiza v upravlenii [Fundamentals of simulation and system analysis in management]. 2015. – 496 p (In Russian).
3. Leskin A.A et al. Seti Petri v modelirovanii i upravlenii [Petri nets in modeling and control]. – L.: Science, 1989. – 133 p. (In Russian).
4. Brodskiy Yu.I. Raspredelennoe imitacionnoe modelirovanie slozhnyh system [Distributed simulation modeling of complex systems]. Monograph. . – М.: Computing Center named. A.A. Dorodnitsa of the Russian Academy of Sciences, 2010. – 156 p. (In Russian).
5. Bulatov V.V. Vvedenie v matematicheskie metody modelirovaniya slozhnyh sistem [Introduction to mathematical methods for modeling complex systems]. Monograph.. – М.: «OntoPrint», 2018. – 342 p. (In Russian).
6. Dolgov A.I. Algoritmizacija prikladnyh zadach [Algorithmization of applied problems]. – М.: FLINTA, 2016. – 136 p. (In Russian).
7. Trukhin M.P. Modelirovanie signalov i sistem. Setevye modeli [Simulation of signals and systems. Network models]. – Yekaterinburg: Publishing house of the Ural University, 2018. – 204 p. (In Russian).

Статья поступила 05 июля 2019 г.

Информация об авторах

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

Чуев Александр Витальевич – Начальник отдела ПАО «Интелтех». Кандидат технических наук, доцент. Тел.: +79819782550.

Киселев Алексей Алексеевич – Начальник сектора ПАО «Интелтех». Кандидат технических наук, доцент. Тел.: +79119621460.

Миронов Анатолий Анатольевич – Инженер 1 категории ПАО «Интелтех». Кандидат технических наук, доцент. Тел.: +79110336753.

E-mail: saldv@inteltech.ru. Адрес: 197342, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Кантемировская, д. 8.

Imitation model of military communication network

A.A. Moiseev, A.V. Chuev, A.A. Kiselev, A.A. Mironov

Annotation. *The core of the article for a comprehensive, comprehensive study of the network of military communications selected system analysis, on the basis of which the considered network includes subsystems: nodes (stations), lines, management, support, reserves. In the considered research task, it is very difficult to formulate an object in the form of an analytical mathematical model, and analytical and numerical solutions are ineffective due to their bulkiness and limitations on computational resources. On this basis, the sequence of development of a simulation mathematical model of a military communication network based on the principles of modularity and structural similarity is presented using the theory of Petri nets and their logical scheme of construction. To implement this approach, the following modeling steps were proposed: synthesis of the morphological structure of the simulation model, structurization of the simulation model, formalization and algorithmization of the model elements, development of descriptions of network positions and transitions, debugging and computer experiments. From the point of view of scientific problems, the first three stages, which are considered in detail in the article, are of the greatest interest. The most important function of mathematical simulation is not only and not so much getting quantitative estimates, but targeted assistance to the researcher (developer) to understand the essence of the system being studied (designed). This is reflected in an adequate reflection of the functioning of a complex multi-level hierarchical system, allowing you to take into account the distinctive, individual characteristics of the system and describe the asynchrony and parallelism of processes and events. The proposed approach creates the prerequisites for an objective view of real processes, focusing their attention not on particulars, but on regularities.*

Keywords: *military communications network, simulation model, Petri net, macro transition, primitive events, not primitive events, operator, elementary function, function tree.*

Information about Authors

Moiseev Anatoly Alekseevich - Deputy director of scientific and technical center of PJSC «Inteltech». Candidate of military sciences, professor. Tel. +79112950761.

Chuev Alexander Vitalevich - Head of section of PJSC «Inteltech». Candidate of engineering sciences, docent. Tel. +79819782550.

Kiselev Alexey Alekseevich - Head of sector of PJSC «Inteltech». Candidate of engineering sciences, docent. Tel. +79119621460.

Mironov Anatoly Anatolyevich - First category engineer of PJSC «Inteltech». Candidate of engineering sciences, docent. Tel. +79110336753.

E-mail: saldv@inteltech.ru.

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

Для цитирования: Моисеев А.А., Чуев А.В., Киселев А.А., Миронов А.А. Имитационная модель сети военной связи // Техника средств связи. 2019. № 3 (147). С. 53-69.

For citation: Moiseev A.A., Chuev A.V., Kiselev A.A., Mironov A.A. Imitation model of military communication network. Means of communication equipment. 2019. No 3 (147). P. 53-69. (In Russian).

УДК 621.396.4; 519.876.5

Модель цифровой сети радиосвязи в распределенной вычислительной среде

Шаптала В.С.

Аннотация. В статье ставится задача обосновать парадигму предсказуемой разработки программного обеспечения для широкого круга телекоммуникационных задач. **Целью** работы является создание модели телекоммуникационной системы, которая состоит из независимых программных компонент. В качестве примера используется цифровая радиосвязь в коротковолновом диапазоне. При моделировании используются **методы** кроссплатформенного программирования и специальные алгоритмы для создания надежного телекоммуникационного оборудования. Это оборудование предназначено для каналов связи с низким отношением сигнал/шум и замираниями, вызванными тем, что передаваемый сигнал может несколько раз отражаться от ионосферы, что приводит к нескольким путям распространения. **Новизна** обсуждаемого решения состоит в оптимальном выделении функциональности предложенных программных компонент и разработанном графическом представлении функционирования системы связи с последовательным расширением спектра сигнала. **К результатам работы** следует отнести создание модели сети радиосвязи, которая функционирует в распределенной вычислительной среде, для которой приведены результаты тестирования на целевых операционных системах: Windows (Windows 10) и Linux (Astra Linux 8.2 и Alt Linux 1.6). **Практическая значимость** работы заключается в предложенной многокомпонентной структуре программного обеспечения, которая за счет разделения зон ответственности (цифровая обработка сигналов, протокольная составляющая, слой графического интерфейса и уровень приложения) упрощает создание коллектива разработчиков и управление проектом на всем протяжении его жизненного цикла. За счет использования кроссплатформенного фреймворка Qt перечень операционных систем может быть расширен до QNX (КПДА) и Android (включая перенос на аппаратную платформу ARM). Полученные **оценки** программных компонент по быстродействию и по размеру используемой памяти позволяют планировать загрузку распределенной вычислительной среды.

Ключевые слова: распределенные вычисления, цифровая обработка сигналов, архитектура программного обеспечения.

Введение

Статья описывает результат моделирования системы цифровой радиосвязи в коротковолновом диапазоне по алгоритму, предложенному в [1]. Моделирование ведется с использованием серверов начального уровня на платформе Intel. Основные цели моделирования повторяют цели из [1]: отладить алгоритмы функционирования цифровой сети радиосвязи, сформировать кроссплатформенные компоненты программного обеспечения, получить оценку вычислительной сложности предлагаемых алгоритмов и продемонстрировать работу цифровой сети радиосвязи.

Моделирование происходит на виртуальных операционных системах, запущенных с помощью кроссплатформенной системы управления виртуализацией oVirt версии 4.3.2.1. Состав серверного оборудования: Intel E5-2650; 20 MB; 2,0 GHz (2,8 GHz) / 12*8 GB / DDR3 1066 MHz. Все гостевые операционные системы поддерживают 64-битную архитектуру, для каждой выделено 2 GB RAM и в каждой процессор определяется как E312xx; 2,0 GHz.

Приложения и компоненты используют кроссплатформенный фреймворк Qt 5.12.1, 64-разрядный компилятор (MinGW 7.3 для Windows и GCC5 для Linux) и собираются в интегрированной среде разработки QtCreator 4.8.1. Все результаты получены для сборки приложений и компонент в режиме «Release».

Структура программного обеспечения

Программное обеспечение строится из различных компонент (*components*), как представлено в табл. 1, а их комбинации образуют приложения (*applications*). Компоненты в свою очередь состоят из трех слоёв: примитивы интерфейса пользователя (*widgets*), системные библиотеки (*systems*) и цифровая обработка сигналов (*signals*).

Таблица 1 – Матрица программного обеспечения

<i>Applications</i>	<i>Components</i>		
	<i>Widgets</i>	<i>Systems</i>	<i>Signals</i>
	<i>Qt, ANSI C++</i>		<i>ANSI C</i>
<i>fhss-dce</i> <i>fhss-multichannel</i> <i>fhss-standalone</i>	<i>qt-dce-panel</i> <i>qt-dce-plot</i> <i>qt-channel-panel</i> <i>qt-channel-plot</i>	<i>fhss-protocols</i> <i>qt-3dSurfaceWidget</i> <i>qt-customplot</i>	<i>fhss-modem</i> <i>eml</i> <i>fhss-channel</i>

Приложение *fhss-standalone* это независимое приложение, которое демонстрирует работу цифровой сети радиосвязи только для четырех абонентов. Распределенное приложение *fhss-dce* (клиент) и *fhss-multichannel* (сервер) обеспечивает демонстрацию работы цифровой сети радиосвязи в распределенной вычислительной среде. В этом случае количество абонентов не ограничено, но не должно превышать логическую емкость моделируемой сети.

Необходимо обратить внимание, что в рамках этой статьи под абонентом понимается комбинация аппаратуры передачи данных (*DCE, data communication equipment*) и оконечного оборудования данных (*DTE, data terminal equipment*). Далее рассмотрим приложения более подробно.

Приложение *fhss-dce* это абонент, который состоит из следующих компонент: *eml* – библиотека математических функций, *fhss-modem* – аппаратура передачи данных, *fhss-protocols* – библиотека системных протоколов, *qt-3dSurfaceWidget* – библиотека трехмерной графики, *qt-customplot* – компонент, отвечающий за двумерную графику, *qt-dce-plot* – графическая подсистема и *qt-dce-panel* – графический интерфейс пользователя.

Приложение *fhss-multichannel* это многоканальная модель канала, которая состоит из следующих компонент: *eml, fhss-channel* – модель канала по рекомендации *ITU-R F.1487 [2]*, *fhss-protocols, qt-3dSurfaceWidget, qt-customplot, qt-channel-plot* – графическая подсистема и *qt-channel-panel* – графический интерфейс пользователя.

Приложение *fhss-standalone* это автономное приложение, которое состоит из всех компонент, перечисленных в табл. 1. Это приложение, в основном, предназначено для отладки слоя цифровой обработки сигналов, тогда как распределённое приложение используется для отладки сетевых алгоритмов и моделирования сопряжения с терминальным оборудованием и радиосредствами. Автономное приложение приведено только как пример многократного использования компонент и в дальнейшем рассматриваться не будет.

Абонент

Как и говорилось выше абонент состоит из аппаратуры передачи данных (АПД) и простого терминала, который позволяет вычислять вероятность ошибки на бит и отображает служебную информацию как представлено на рис. 1. Дополнительно у абонента доступно графическое представление внутренних переменных, а именно: уровень шума, оптимальное положение тактового интервала, количество исправленных кодом Рида-Соломона ошибок, детектируемый частотный сдвиг, звездная диаграмма и последовательность рабочих частот.

В свою очередь АПД состоит из пакетного модема и дополнительных расширений. Модем построен на *OFDM* технологии и использует полосу 4500 Гц. Для связи с радиопередающим оборудованием используется вещественный сигнал с частотой

дискретизации 12800 Гц и разрядностью 16 бит. Длительность слота (минимальный отрезок сигнала для тактовой синхронизации) равна 50 мс. Поддерживаемые режимы работы представлены в табл. 2. Тактовая синхронизация осуществляется по информационному сигналу, так называемая, слепая синхронизация.

Таблица 2 – Линейка скоростей пакетного модема

Вид модуляции	ОФМ-2	ОФМ-4	ОФМ-8
Канальная скорость, бит/с	2640	5280	7920
Длина информационной части слота, байт	10	18	34
Символ кода Рида-Соломона, бит	5	6	6
Код Рида-Соломона (n, k)	26, 16	44, 24	33, 23
Относительная скорость кода	0,62	0,55	0,70
Информационная скорость, бит/с	1600	2880	5440
после использования канального протокола, бит/с	1440	2720	5280
после использования метода повышения достоверности для длины сообщения 15 байт и 15 повторов, бит/с	53	80	160

Для функционирования цифровой сети радиосвязи возможностей одного модема недостаточно, поэтому АПД обладает большим функционалом, чем пакетный модем. К ключевым особенностям АПД можно отнести следующие расширения:

последовательное расширение спектра сигнала *frequency-hopping spread spectrum (FHSS)* или псевдослучайное переключение рабочей частоты;

адаптация по рабочим частотам (исключение частот с плохим прохождением);

адаптация по скорости передачи (выбор оптимальной размерности модуляции);

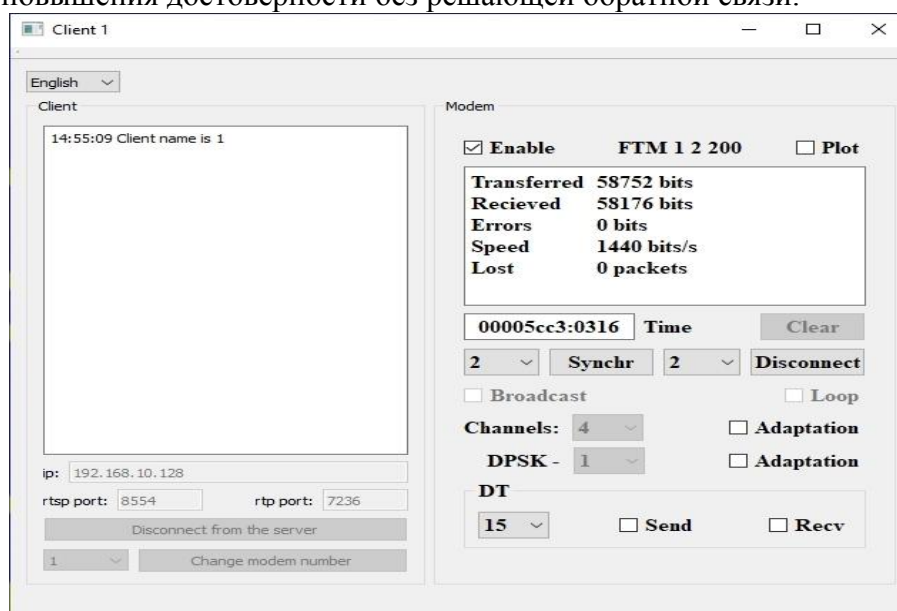
синхронизация времени без использования систем *GPS* или ГЛОНАС;

установление соединения точка-точка на выделенной частотно-временной матрице;

поддержка технологии *TDD (Time Division Duplex)* для дуплексного соединения;

широковещательная передача;

метод повышения достоверности без решающей обратной связи.

Рис. 1. Приложение *fhss-dce*

Многоканальная модель канала

За счет параллельно работающих рабочих частот в модели поддерживается технология *FHSS*. Для ускорения моделирования это значение может изменяться, но оно не должно быть меньше, чем количество рабочих частот в модеме и не может превышать 128.

Модель спроектирована таким образом, что полученные сигналы могут образовывать коллизии в режиме *FHSS*. Формат представления сигнала совпадает с абонентом: вещественный сигнал с частотой дискретизации 12 800 Гц и разрядностью 16 бит. В каждом канале доступны следующие искажения: аддитивный белый Гауссовский шум, замирания сигнала в соответствии с рекомендацией *ITU-R F.1487* [2] и сдвиг сигнала по частоте в диапазоне ± 3 Гц. Все каналы моделируются независимо.

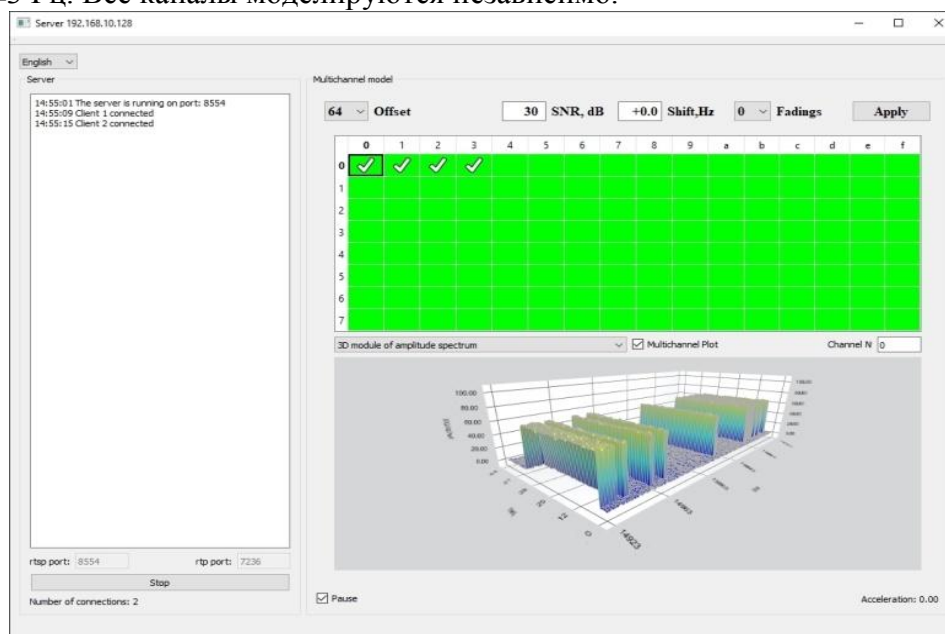


Рис. 2. Приложение *fhss-multichannel*

Графический интерфейс многоканальной модели канала представлен на рис. 2. Для каждого канала доступен признак активности («галочка» в матрице каналов) и спектральное представление в виде двумерного динамического спектра, «водопада» и трехмерного динамического спектра. Спектральное представление доступно для выделенной рабочей частоты и для группы рабочих частот.

Принцип работы распределенного приложения

Первое на что необходимо обратить внимание, что моделирование может происходить или с опережением реального времени (если быстродействие распределенной вычислительной системы велико), или медленнее. Применительно к этой модели нельзя говорить о работе в режиме реального времени, поскольку распределенное приложение не использует глобальные системные часы, а использует только относительный таймер. Коэффициент ускорения доступен в сервере (для пояснения принципа работы лучше использовать терминологию клиент/сервер, а не абонент/модель канала).

Для взаимодействия клиента и сервера используются два протокола *real time streaming protocol (RTSP)* [3, 4] и *transport protocol for real-time applications (RTP)* [5]. Эти протоколы традиционно используются для обеспечения передачи трафика, чувствительного к временным задержкам в сети. Дополнительно с ними часто используется *real-time control protocol (RTCP)* [5] для синхронизации времени нескольких потоков, но на текущем этапе развития распределенное приложение его не использует. Протокол *RTSP* частично модифицирован за счет добавления новых команд, а вещественный сигнал инкапсулирован в *RTP* с использованием проприетарного протокола. Эти модификации протоколов связаны с эволюционным развитием модели, когда будет понятен целевой стек протоколов, то распределенное приложение будет его поддерживать.

Основной принцип работы приложения можно пояснить на основе простой последовательности действий:

сервер запускается и начинает моделировать искажения по заданному количеству рабочих частот;

клиент подключается по протоколу *RTSP* и получает свой абонентский номер;

сервер, зная количество подключенных клиентов, запрашивает у всех данные на передачу по протоколу *RTSP* и получает вещественный сигнал по протоколу *RTP*;

в сервере происходит искажение сигналов для всех рабочих частот, а не только для тех на которых в данный момент работают абоненты;

после этого сервер возвращает искаженный сигнал каждому абоненту по протоколу *RTP* и цикл повторяется снова.

Описанная модель может тестировать все расширения АПД. В качестве примера на рис. 3 и 4 приведено графическое представление использования выделенного набора рабочих частот для двух, связанных между собой абонентов, которые работают на определенной частотно-временной матрице. Каждый из абонентов использует 4 рабочих частоты.

На каждом спектральном представлении видно, как пакетный модем работает с поддержкой технологии *FHSS*, последовательно переключаясь в диапазоне четырех рабочих частот по псевдослучайному закону. На двумерном представлении амплитуда определяется цветом, а на трехмерном – уровнем сигнала по оси аппликат. Идеальное спектральное представление слота пакетного модема возможно только в условиях синхронизации окна спектрального анализа и границ слотов, для чего в сервере предусмотрена ручная регулировка.

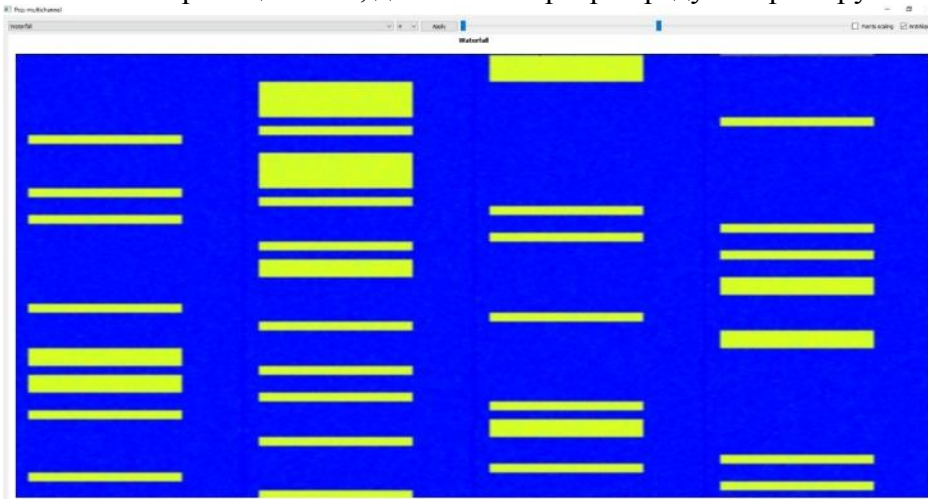


Рис. 3. Спектральный «водопад». Ось абсцисс – частота, а ось ординат – время

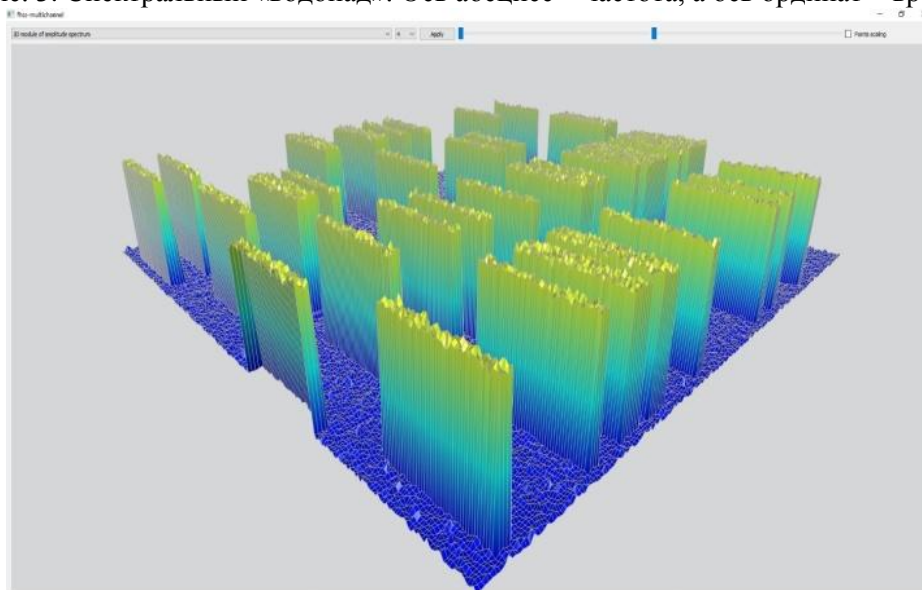


Рис. 4. Трехмерный динамический спектр

Выводы

В ходе работы создана распределенная модель сети цифровой радиосвязи, где количество абонентов ограничено только набором используемых рабочих частот. Моделирование использует базовый набор программных компонент, который является фундаментом для разработки стека протоколов телекоммуникационного оборудования: от физического до прикладного уровней. Благодаря кроссплатформенному фреймворку *Qt* поддерживаются все целевые операционные системы. В табл. 3 и табл. 4 представлены коммерческие характеристики разработанных приложений и компонент.

Таблица 3 – Загрузка процессора, мс (% от реального времени)

<i>Guest OS, x64</i>	<i>Windows 10</i>	<i>Alt Linux 8.2</i>	<i>Astra Linux 1.6</i>
<i>qt-dce-panel fhss-modem</i>	1,9 (3,8%)	1,4 (2,8%)	1,3 (2,6%)
<i>qt-channel-panel fhss-channel (128 каналов)</i>	18,4 (36,8%)	13,5 (27,0%)	13,5 (27,0%)
<i>qt-dce-plot</i>	6 (12%)	13 (26%)	9 (18%)
<i>qt-channel-plot 2D</i>	10 (20%)	19 (38%)	13 (26%)
<i>qt-channel-plot 3D</i>	61 (122%)	65 (130%)	52 (104%)

Таблица 4 – Использование памяти в операционной системе Windows 10 x64

<i>Applications</i>	<i>fhss-dce</i>	<i>fhss-standalone</i>	<i>fhss-multichannel</i>
<i>Application size, MB</i>	1,0	1,1	1,0
<i>RAM usage, MB</i>	16	50	60

Для коммерческого использования представленных компонент и приложений необходимо продолжение начатой работы:

переход от вещественного к комплексному представлению сигналов (*I/Q* компоненты) для совместимости с радиосредствами;

разделение абонента на аппаратуру передачи данных и терминал с последующей разработкой имитатора терминального оборудования *fhss-dte*, что позволит создать менеджер модемов на основе приложения *fhss-dce*;

переход к модели, которая работает в реальном времени, что потребует поддержки стека протоколов семейства *NTP (network time protocol)*;

введение в состав распределенной модели приложения, демонстрирующего работу станции радиоэлектронного подавления;

разработка и построение системы тестирования, поскольку требуется поддержка большого количества вариаций для проверки всех слоёв системы: *applications, widgets, systems* и *signals*, а сейчас имеется только поверхностное тестирование в целевых операционных системах;

сертификация поставляемых компонент по стандартам промышленного программирования, например, *MISRA* [6].

Литература

1. Шаптала В.С. Построение системы цифровой коротковолновой радиосвязи // Техника средств связи. 2019. № 2. С. 154-156.
2. Recommendation ITU-R F.1487 Testing of HF modems with bandwidths of up to about 12 kHz using ionospheric channel simulators, 05/2000.
3. RFC 2326 Real Time Streaming Protocol (RTSP) URL: <https://www.ietf.org/rfc/rfc2326.txt> (дата обращения 29.04.2019).
4. RFC 7826 Real-Time Streaming Protocol Version 2.0 URL: <https://tools.ietf.org/html/rfc7826> (дата обращения 29.04.2019).
5. RFC 3550 RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications URL: <https://tools.ietf.org/html/rfc3550> (дата обращения 29.04.2019).
6. The official resource for information on MISRA's publications and activities URL: <https://www.misra.org.uk> (дата обращения 16.07.2019).

References

1. Shaptala V.S. Postroenie sistemy cifrovoj korotkovolnovoj radiosvyazi // Tekhnika sredstv svyazi [Building a digital short-wave radio system]. Means of Telecommunication Equipment. 2019. No. 2. Pp. 154-156. (In Russian).
2. Recommendation ITU-R F.1487 Testing of HF modems with bandwidths of up to about 12 kHz using ionospheric channel simulators, 05/2000.
3. RFC 2326 Real Time Streaming Protocol (RTSP) URL: <https://www.ietf.org/rfc/rfc2326.txt> (accessed 29 Apr. 2019).
4. RFC 7826 Real-Time Streaming Protocol Version 2.0 URL: <https://tools.ietf.org/html/rfc7826> (accessed 29 Apr. 2019).
5. RFC 3550 RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications URL: <https://tools.ietf.org/html/rfc3550> (accessed 29 Apr. 2019).
6. The official resource for information on MISRA's publications and activities URL: <https://www.misra.org.uk> (accessed 29 Apr. 2019).

Статья поступила 15 июля 2019 г.

Информация об авторах

Шаптала Василий Сергеевич – Начальник лаборатории ПАО «Интелтех». Кандидат технических наук. Тел. 8(812)448-19-01 (доб.12-15). E-mail: shaptalavs@inteltech.ru.
Адрес: 197342, г. Санкт-Петербург, Кантемировская ул., д.8.

Model of digital radio network in distributed computing system

V.S. Shaptala

Abstract. *The article describes the paradigm of predictable software development for a wide range of telecommunication tasks. The aim of the work is to create a model of telecommunication system, which consists of independent software components. We use digital short-wave radio communication only as an example. The simulation uses cross-platform programming methods and special algorithms to create robust telecommunication equipment. This equipment is designed for communication channels with low signal-to-noise ratio and fading caused by because the transmitted signal can bounce off several times from the ionosphere, which results in several propagation paths. The innovation of the solution is in the optimal selection of functionality of the proposed software components and graphical view of the communication system with a frequency-hopping spread spectrum. The main result of the work is a model of a radio network, which runs in a distributed computing system. The results of testing on target operating systems: Windows (Windows 10) and Linux (Astra Linux 8.2 and Alt Linux 1.6) are included. The practical benefit of the work is the proposed multi-component structure of the software, which separates the areas of responsibility (digital signal processing, protocol component, graphical interface layer and application level) and simplifies the creation of a developer team and, consequently, the project management throughout its whole life cycle. By using a free and open-source widget toolkit Qt it is possible to add additional operations system: QNX and Android (including migration to the ARM platform). A CPU load and memory usage estimations allow to effective usage of distributed computing system.*

Keywords: *distributed computing, digital signal processing, software architecture.*

Information about Authors

Shaptala Vasilij Sergeevich - Head of laboratory PJSC “Inteltech”. Ph.D.
Tel. 8(812)448-19-01 (доб.12-15). E-mail: shaptalavs@inteltech.ru.
Address: Russia, 197342, Saint-Petersburg, Kantemirovskaya street, 8.

Для цитирования: Шаптала В.С. Модель цифровой сети радиосвязи в распределенной вычислительной среде // Техника средств связи. 2019. № 3 (147). С. 70-76.

For citation: Shaptala V.S. Model of digital radio network in distributed computing system // Means of communication equipment. 2019. No 3 (147). P. 70-76. (In Russian).

ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

УДК 004.056.53

Принцип создания правил реагирования для OSSEC

Гузарев А.С.

Аннотация. Постановка задачи: рассматривается создание правил реагирования для многоагентной системы обнаружения вторжений OSSEC, применяемой для защиты автоматизированных комплексов связи от несанкционированного доступа. **Целью работы** является описание принципа создания правил для систем обнаружения вторжений, обрабатывающих регистрируемые события в соответствии с классом защищенности автоматизированных систем ИБ. **Используемые методы:** теоретический и практический заделы в области обеспечения безопасности информации с использованием объектно-ориентированного принципа при формировании групп правил. **Новизна** состоит в применении нового принципа создания правил декодирования и реагирования на регистрируемые события различных типов и форматов, обеспечивающего возможность внесения изменений в отдельные группы правил без необходимости изменения остальных. Применение такого принципа позволяет сократить время обработки или необходимые вычислительные ресурсы. **Апробация** предложенного принципа была проведена в рамках работ по созданию Многофункционального интегрированного комплекса связи. **Результат** заключается в наборе правил для программного средства OSSEC, обеспечивающих реагирования на все события в соответствии с требованиями руководящего документа ФСТЭК на автоматизированные системы в части защиты от несанкционированного доступа к информации. **Практическая значимость:** предложенный принцип создания правил применим для ряда многоагентных систем обнаружения вторжений, включая OSSEC, Wazuh и OSSIM. Создаваемые правила могут обеспечить обработку различных форматов журналов регистрации событий.

Ключевые слова: система обнаружения вторжений, система защиты, информационная безопасность, несанкционированный доступ.

Введение

Предприятие в процессе разработки автоматизированных комплексов связи (АКС) подводных лодок [1], надводных кораблей и различных проектов [2], наземных и корабельных средств авиационной связи провело разработку подсистемы обеспечения безопасности информации (ОБИ). Подсистема была испытана в 2017-2018 гг. в составе многофункционального интегрированного комплекса корабельной связи (МИКС).

Разработка комплекса проводилась в инициативном порядке и позволила подвести промежуточные итоги [3] по направлению создания автоматизированного рабочего места (АРМ) администратора ОБИ. АКС является автоматизированной системой (АС), подлежащей защите от несанкционированного доступа (НСД) к информации по классу защищенности ИБ [4]. В перечне регистрируемых действий присутствуют аутентификации пользователей, печати документов, запуска и завершения программных средств, операции доступа к защищаемым файлам и узлам сети, нарушения целостности, изменения полномочий субъектов доступа. Все попытки нарушения защиты должны сигнализироваться на АРМ ОБИ. Реализация данного требования была выполнена путем централизованного сбора и анализа журналов протоколирования (журналов аудита) операционных систем (ОС), служб и специального программного обеспечения (СПО).

Технические решения подобного рода принято называть многоагентными системами обнаружения вторжений (МСОВ) [5]. Была организована трехуровневая архитектура МСОВ, содержащая агенты регистрации, систему сбора и реагирования, интерфейс администратора ОБИ. Проблеме выбора программной реализации МСОВ посвящена работа [6]. По

совокупности показателей, для решения задачи по защите АКС от НСД, был выбран *OSSEC*, позволяющий анализировать журналы, проверять целостность, обнаруживать и активно реагировать на попытки нарушения НСД. В функциональность заложена возможность анализа журналов, как уровня ОС, так и отдельных приложений.

МСОВ *OSSEC* входит в набор модулей ОС специального назначения *Astra Linux® Special Edition*, применяемой на серверных устройствах МИКС. Программное средство состоит из трех компонентов, соответствующих трехуровневой архитектуре. МСОВ была развернута в сети АКС. Поскольку базовые правила *OSSEC* не удовлетворяли нормативным требованиям класса 1Б, были ориентированы на небольшой набор параметров и ограниченное количество событий, а также трудно изменяемы, то было принято решение о создании собственного набора правил, разрабатываемых по новому принципу.

В статье приведено формализованное описание алгоритма работы МСОВ, изложены примененный принцип и логика создания правил реагирования на НСД.

Формализация работы МСОВ

От агентов в систему сбора и реагирования поступают сообщения о произошедших событиях с различными форматами и родом информации. Образующее множество сообщений E_i будем считать бесконечным:

$$E = \{E_1, E_2, \dots, E_i\}. \quad (1)$$

Информация в сообщениях E_i , как правило, передается в виде единой текстовой строки без дополнительных параметров. Дальнейшая работа с подобными сообщениями требует проведения синтаксического анализа.

В качестве примера сообщения E_i будем использовать сообщение, возникающее в результате удаленного подключения к устройству по протоколу *ssh*, определенному в *RFC 4252*.

Jul 4 08:40:57 arm1 sshd[5990]: Accepted password for user19 from 192.168.254.112 port 55525 ssh2

Сообщение автоматически регистрируется средствами операционной системы и имеет формат *syslog*. В приведенном примере подключение было выполнено к устройству *arm1* с устройства, имеющего *ip*-адрес 192.168.254.112, для авторизации была использована учетная запись *user19*.

Первичная обработка сообщений строится по следующему принципу: поступающее сообщение декодируется, нормализуется, затем применяются правила реагирования и исключения. Данные правила применяются последовательно, если сообщение не соответствует ни одному правилу, то оно отбрасывается.

Процесс декодирования заключается в разделении исходной строки на статические St и переменные Vl части в строгом порядке, соответствующем правилу декодирования Rd :

$$Rd_j = \{St_1, Vl_1, St_2, Vl_2, \dots, St_j, Vl_k, \dots\}. \quad (2)$$

Правила декодирования Rd_j применяются по порядку до первого полного совпадения статических частей строки. Если совпадений не найдено, то сообщение будет пропущено. Множеству переменных частей $\{Vl_k\}$ ставится в соответствие множество параметров, такое, что $Pr_k \rightarrow Vl_k$. Образованный кортеж $\langle \{Pr_k\}, \{Vl_k\} \rangle$ является декодированным сообщением. Функцию декодирования F_{decode} сообщения можно записать в следующем формализованном виде:

$$F_{decode}(E_i, \{Rd_j\}) = \langle \{Pr_k\}, \{Vl_k\} \rangle. \quad (3)$$

Результат декодирования F_{decode} представленного ранее сообщение E будет выглядеть следующим образом:

```

**Phase 1: Completed pre-decoding.
full event: 'Jul 4 08:40:57 arm1 sshd[5990]: Accepted password for user19 from
192.168.254.112 port 55525 ssh2'
hostname: 'arm1'
program_name: 'sshd'
log: 'Accepted password for user19 from 192.168.254.112 port 55525 ssh2'
**Phase 2: Completed decoding.
decoder: 'D_authentication_success'
dstuser: 'user19'
srcip: '192.168.254.112'
srcport: '55525'
proto: 'ssh2'

```

Как видно из листинга работы *OSSEC*, декодирование имеет две фазы: предварительное декодирование (*pre-decoding*) и декодирование по правилу «*D_authentication_success*».

Предварительное декодирование позволяет определить пары $\{Pr_k\}, \{Vl_k\}$, общие для формата *syslog*, включая наименование устройства, зарегистрировавшего событие и программное средство. Правила предварительного декодирования находятся в коде программы и применяются всегда. Правила декодирования разрабатываются в зависимости от требований проекта.

Декодирование по правилу позволяет определить пары $\{Pr_k\}, \{Vl_k\}$, специфичные для программного средства, действия которого были зарегистрированы. Для *sshd* декодированы следующие параметры:

- используемая учетная запись (*user 19*);
- ip*-адрес устройства с которого было выполнено подключение (*192.168.254.112*);
- порт удаленного устройства, используемый для подключения (*55525*);
- протокол, использованный для удаленного подключения (*ssh2*).

После успешного декодирования сообщения выполняется поиск правила реагирования. Правила реагирования Rr содержат пары параметр Pr_{Rr} и его значение Vl_{Rr} . Соответствием правилу Rr_i сообщения E_i , имеющего параметры $\{Pr_k\}$ и значения $\{Vl_k\}$, является выполнение следующего условия:

$$\langle \{Pr_{Rr}\}, \{Vl_{Rr}\} \rangle \subseteq \langle \{Pr_k\}, \{Vl_k\} \rangle. \quad (4)$$

Результат работы *OSSEC* по правилу реагирования Rr_i на сообщение E_i , будет выглядеть следующим образом:

```

**Phase 3: Completed filtering (rules).
Rule id: '5501'
Level: '2'
Description: 'Аутентификация пользователя'
**Alert to be generated.

```

Реакцией МСОВ на сообщение E_i является генерация сообщения об успешной аутентификации пользователя с уровнем критичности. Кроме генерации сообщения правило может содержать автоматические действия по блокировке *ip*-адресов или портов. Сообщение МСОВ включает в себя:

- сообщение E_i в изначальном виде;
- пары $\{Pr_k\}, \{Vl_k\}$ полученные в результате декодирования;

номер сработавшего правила Rr_i ;
 уровень критичности (*Level*);
 текст описания события (*Description*).

Таким образом, функция МСОВ Rr_i заключается в преобразовании событий E_i в виде строки в набор формализованных параметров $\langle \{Pr_k\}, \{V_k\} \rangle$, который может быть использован для дальнейшей обработки, анализа или визуализации.

$$F_{ids}(E_i) = \langle \{Pr_{ids}\}, \{V_{ids}\} \rangle. \quad (5)$$

Сообщения МСОВ сохраняются в журнале работы *OSSEC*, в зависимости от настройки, могут дополнительно отправляться в базу данных или удаленный сервер.

Принцип разработки правил декодирования и реагирования

Работа *МСОВ OSSEC* с базовыми правилами представляет собой последовательный перебор правил декодирования (декодеров), потом правил реагирования, что соответствует линейной алгоритмической сложности $O(n)$.

Сокращение времени операций поиска правил декодирования Rd и реагирования Rr , предлагается объединением правил в группы, подгруппы и цепочки штатными возможностями *OSSEC*. При этом, декодеры предлагается разделять на родительские и дочерние, а правила реагирования – на группы примитивов и группы событий. Соответствующий порядок обработки сообщений приведен на рис. 1. Пример следования сообщения по правилам обозначен пунктирными линиями.

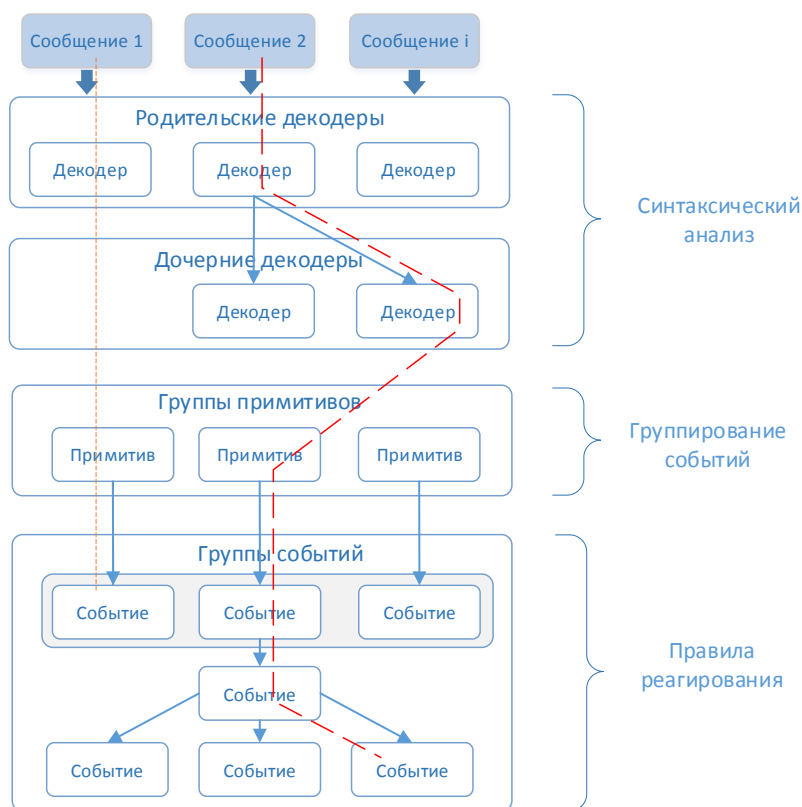


Рис. 1. Соответствующий порядок обработки сообщений

Время декодирования напрямую зависит от длины строки, количества статических St и переменных Vl частей и количества правил декодирования Rd_j . Сокращение затрачиваемого времени может быть достигнуто путем перераспределения порядка правил и разделением на родительские и дочерние декодеры.

Порядок включения декодеров должен содержать наиболее часто срабатываемые правила вначале, и наименее востребованные в конце. По возможности, декодеры должны быть составлены так, чтобы строго советовали форматам сообщений.

Каждое программное средство или их группа, если они разработаны по одинаковому принципу, при создании сообщений придерживаются общего формата подставляя контекст в зависимости от ситуации. Родительские декодеры Rd_{parent} должны определять программное средство и основной тип сообщений. Дочерние декодеры Rd_{child} должны непосредственно содержать статические St и переменные Vl части для декодирования. Первым шагом будет найден родительский декодер, вторым шагом будет найден дочерний декодер из ограниченного множества. Функцию декодирования F_{decode} сообщения можно переписать в виде композиции:

$$F_{decode} = Rd_{parent} \circ Rd_{child}. \quad (6)$$

Пример родительского и дочерних декодеров представлен ниже:

```
<decoder name="D_authentication_success">
  <program_name>login/sshd</program_name>
  <prematch>^LOGIN ON/^Accepted password for</prematch>
</decoder>
<decoder name="D_authentication_success_ch1">
  <parent>D_authentication_success</parent>
  <program_name>login</program_name>
  <prematch>^LOGIN ON</prematch>
  <regex>LOGIN ON \S+ BY (\S+)</regex>
  <order>dstuser</order>
</decoder>
<decoder name="D_authentication_success_ch3">
  <parent>D_authentication_success</parent>
  <program_name>sshd</program_name>
  <prematch>^Accepted password for</prematch>
  <regex>^ (\S+) from (\S+) port (\d+) (\S+)</regex>
  <order>dstuser,srcip,srcport,proto</order>
</decoder>
```

В приведенном примере, родительский декодер «*D_authentication_success*» будет срабатывать только на успешные операции удаленной и локальной аутентификации пользователя. При этом, если программное средство не соответствует «*login*» или «*sshd*», алгоритм сразу перейдет к следующему родительскому декодеру без проверки соответствия регулярному выражению из тега «*prematch*». Дочерние декодеры «*D_authentication_success_ch1*» и «*D_authentication_success_ch3*» определяются по тегу «*parent*». Поиск дочернего декодера выполняется по названию программного средства и по регулярному выражению сообщения. После того как найден первый подходящий дочерний декодер, выполняется операция декодирования F_{decode} .

Такой принцип составления правил позволяет избежать ситуации полного перебора и сократить количество регулярных выражений, по которым пройдет алгоритм.

OSSEC обеспечивает возможность определения порядка поиска правил реагирования за счет групп и порядковых номеров правил. Предлагаемый принцип строится на идее формирования групп правил на основе декодеров и дальнейшей работе с правилами в пределах заданной группы в порядке следования.

Поскольку целью сбора сообщений является выявление несанкционированных действий, то группирование правил возможно по типу регистрируемого событий. В таком

случае, первая группа правил, называемая примитивами Rr_{PMTV} , должна соответствовать одному или нескольким декодерам и определять тип события, например, «успешная авторизация», «неправильный пароль или пользователь» и другие. При этом, одни и те же декодеры могут входить в разные примитивы.

Вторая группа правил, называемая событиями Rr_{EVNT} , служит для конкретизации зарегистрированных действий и реагирования, например, «неправильно введенный пароль при авторизации через *ssh*», «вход заблокированным пользователем» и др. При этом, правила группы событий могут делиться на базовые, которые должны отработать по умолчанию, и уточняющие, обрабатываемые при определенных значениях Vl_r параметров Pr_r .

Пример групп правил примитивов и событий представлен ниже:

```
<group name="PMTV_auth_ok">
<rule id="5501" level="2">
<decoded_as>D_authentication_success</decoded_as>
<description>Аутентификация пользователя</description>
</rule>
</group>
<group name="EVNT_auth_session">
<rule id="5511" level="2">
<if_group>PMTV_auth_session</if_group>
<program_name>login</program_name>
<description>Успешный вход в систему в текстовом режиме</description>
</rule>
... </group>
```

Приведенный выше пример содержит примитив «*PMTV_auth_ok*», соответствующий одному декодеру «*D_authentication_success*». Примитив может быть использован для генерации события «по умолчанию», если в группе событий не оказалось подходящего правила. Правила группы событий «*EVNT_auth_session*» должны обрабатываться только при срабатывании примитива, указанного в теге «*if_group*». Они выполняют задачу классификации события и уточнения уровня критичности. Порядок применения правил определяется идентификатором правила *id*. Правила могут объединяться в цепочки посредством применения тега «*if_sid*», а также содержать исключаящие правила. Таким образом, формула (5) может быть переписана в следующем виде:

$$F_{ids} = F_{decode} \circ Rr_{PMTV} \circ Rr_{EVNT}. \quad (7)$$

Такой подход позволяет объединять в примитивы сообщения от разных программных средств и создавать правила событий независимо от типов и форматов. Вместе с этим, обеспечивается классификация событий, позволяющая более точно определить характер действий в системе.

Выводы

1. Обеспечение требований по защите АКС от НСД по классу защищенности АС 1Б может быть выполнено за счет использования *MCOB OSSEC*, входящей в состав ОС специального назначения *Astra Linux® Special Edition*. Недостатком данной системы является трудность расширения базы правил реагирования. Регистрируемые события имеют различные типы и форматы, что может потребовать переработку как правил декодирования, так и правил реагирования.

2. Предложенный в статье новый принцип создания правил решает две проблемы. Во-первых, за счет введения объектно-ориентированного подхода правила разбиваются на уровни, задача по изменению правил сводится к редактированию отдельных сущностей. Во-вторых, разделение правил на группы и подгруппы сокращает множество в котором ищутся

правила, что снижает алгоритмическую сложность с линейной $O(n)$ до логарифмической $O(\log n)$, сокращает время поиска и объемы вычислительных ресурсов.

3. Алгоритм работы *OSSEC* и принцип создания правил были описаны в формализованном виде и могут быть использованы при работе с другими МСОВ аналогичного типа.

4. Подсистема ОБИ апробирована в рамках работ по созданию МИКС, прошедшего государственные испытания.

5. Предложенных принцип создания правил обеспечивает работу с различными типами и форматами событий, разработанная подсистема ОБИ применима не только для АКС, но и для других распределенных автоматизированных систем, включая автоматизированные системы общего назначения.

Литература

1. Николашин Ю.Л. и др. Интегрированный комплекс связи надводного корабля. Патент РФ на изобретение №2548023 от 18.03.2015.

2. Николашин Ю.Л. и др. Телекоммуникационный комплекс корабельной связи. Патент РФ на полезную модель №133376 от 10.10.2013.

3. Гузарев А.С. Применение виртуализации для безопасной разработки элементов автоматизированных систем / Труды НИИ ОСИС ВМФ, ВМА. Научно-технический сборник статей и докладов «Интеллектуальные разработки в интересах строительства и развития ВМФ». СПб. 2018. С. 447-453.

4. Руководящий документ Гостехкомиссии России «Автоматизированные системы. Защита от несанкционированного доступа к информации. Классификация автоматизированных систем и требования по защите информации». М.: ГТК РФ, 1992. 20 с.

5. Волошин Б.В., Жуков В.Г. Применение многоагентных систем в задаче построения системы обнаружения инцидентов информационной безопасности // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. 2012. №8.

6. Астаулов Р.А., Тимохович А.С. Повышение защищенности информационной системы путем реализации мер по обнаружению вторжений уровня узла // Наука и образование сегодня. 2017. №6 (17).

References

1. Nikolashin Y.L. et al. Integrirovannyj kompleks svyazi nadvodnogo korablya [Integrated communication complex of surface ship]. Patent RU №2548023. Publ.18.03.2015. (In Russian).

2. Nikolashin Y.L. et al. Telekommunikacionnyj kompleks korabel'noj svyazi [Telecommunication complex of ship communication]. Patent na poleznyju model' RF [The patent for useful model RU] No.133376. Publ. 18.03.2015. (In Russian).

3. Guzarev A.S. Primenenie virtualizacii dlya bezopasnoj razrabotki elementov avtomatizirovannyh sistem [Application virtualization for secure development of elements of automated systems]. Trudy NII OSIS VMF, VMA.Nauchno-tekhnicheskij sbornik statej i dokladov «Intellectual'nye razrabotki v interesah stroitel'stva i razvitiya VMF» [Researches NII OSIS of the Navy, military medical Academy.Scientific and technical collection of articles and reports "Intellectual development for the construction and development of the Navy."]. – Saint-Petersburg - 2018. - P. 447-453. (In Russian).

4. Rukovodyashchij dokument Gostekhkommisii Rossii [Guidance document of the Russian state technical Commission] "Avtomatizirovannye sistemy. Zashchita ot nesankcionirovannogo dostupa k informacii. Klassifikaciya avtomatizirovannyh sistem i trebovaniya po zashchite informacii" [Automated systems. Protection against unauthorized access to information. Classification of automated systems and information security requirements]. - Moscow.: GТK RF [state customs Committee of the Russian Federation], 1992. - 20 P. (In Russian).

5. Voloshin B.V., Zhukov V.G. Primenenie mnogoagentnyh sistem v zadache postroeniya sistemy obnaruzheniya incidentov informacionnoj bezopasnosti [The use of multi-agent systems in the task of building an information security incident detection system]. Aktual'nye problemy aviatsii i kosmonavтики [Actual problems of aviation and cosmonautics]. 2012. No. 8. (In Russian).

6. Astaurov R.A., A.S. Povyshenie zashchishchennosti informacionnoj sistemy putem realizacii mer po obnaruzheniyu vtorzhenij urovnya uzla [Timokhovich improving the security of information systems through the implementation of measures for intrusion detection level of the node] // Nauka i obrazovanie segodnya [Science and education today]. 2017. No. 6 (17). (In Russian).

Статья поступила 19 июля 2019 г.

Информация об авторе

Гузарев Антон Сергеевич – Начальник отдела ПАО «Интелтех».

Тлф.: 8(812) 448-96-65. E-mail: a.guzarev@ntc1.inteltech.ru.

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

The principle of creating response rules for OSSEC

A.S. Guzarev

Annotation. Problem statement: we consider the creation of response rules for multi-agent system for detection of intrusions OSSEC, used to protect automated communication systems from unauthorized access. **The aim of the work** is to describe the principle of creating rules for intrusion detection systems that process recorded events in accordance with the security class of automated systems 1B. **Methods used:** theoretical and practical groundwork in the field of information security using the object-oriented principle in the formation of groups of rules. **The novelty** consists in the application of a new principle of creating rules for decoding and responding to recorded events of various types and formats, providing the ability to make changes to individual groups of rules without the need to change the rest. The application of this principle allows to reduce the processing time or necessary computing resources. **Testing** of the proposed principle was carried out as part of the work on the creation of the MIKS. **The result** is a set of rules for the OSSEC software tool that ensure response to all events in accordance with the requirements of the FSTEC Russia guidance document for automated systems in terms of protection against unauthorized access to information. **Practical relevance:** the proposed rule-making principle is applicable to a number of multi-agent intrusion detection systems, including OSSEC, Wazuh and OSSIM. The rules that you create can handle a variety of event log formats.

Keywords: intrusion detection system, security system, OSSEC, information security, unauthorized access.

Information about Author

Guzarev Anton Sergeevich – Department manager of PJSC «Information Telecommunication Technologies». Tel.: 8(812) 448-96-65. E-mail: a.guzarev@ntc1.inteltech.ru. Address: 197342, Russia, Saint-Petersburg, Kantemirovskaya, 8.

Для цитирования: Гузарев А.С. Принцип создания правил реагирования для OSSEC // Техника средств связи. 2019. № 3 (147). С. 77-84.

For citation: Guzarev A.S. The principle of creating response rules for OSSEC. Means of communication equipment. 2019. No 3 (147). P. 77-84. (In Russian).

УДК 651.5

Варианты использования электронной подписи в системе «1С:Документооборот»

Белоус Д.В., Сиразетдинов Р.Р.

***Аннотация.** Статья посвящена основным вопросам применения простой и усиленной неквалифицированной электронной подписи в системе «1С:Документооборот» публичного акционерного общества «Информационные телекоммуникационные технологии». Описаны свойства и возможности электронных подписей в соответствии с Федеральным законом. Рассмотрена процедура контроля доступа пользователей к базовым информационным ресурсам корпоративной информационной системы. Определено, что визирование документов в системе «1С:Документооборот» соответствует простой электронной подписи, а существующие настройки системы «1С:Документооборот» позволяют осуществлять контроль вносимых изменений пользователями в согласованные всеми участниками процесса согласования документы. Приведены варианты использования усиленной неквалифицированной электронной подписи в системе «1С:Документооборот». Более предпочтительным вариантом является подписание визы согласования. Для использования неквалифицированной электронной подписи необходимо наличие удостоверяющего центра. Описываются функции удостоверяющего центра, обеспечивающего создание электронных сертификатов ключей проверки электронных подписей и осуществляющего проверку электронных подписей по обращениям участников электронного взаимодействия. Определён комплекс работ, необходимый для применения усиленной неквалифицированной электронной подписи. Приведены примеры результатов расчётов ориентировочной стоимости оборудования и программного обеспечения для использования неквалифицированной электронной подписи при наличии собственного удостоверяющего центра и при использовании сертификатов электронных ключей, закупленных у сторонней организации, имеющей статус аккредитованного удостоверяющего центра.*

***Ключевые слова:** простая электронная подпись, усиленная неквалифицированная электронная подпись, 1С:Документооборот, удостоверяющий центр.*

Введение

В соответствии с Федеральным законом от 6 апреля 2011 года № 63-ФЗ «Об электронной подписи» электронная подпись (ЭП) – информация в электронной форме, которая присоединена к другой информации в электронной форме (подписываемой информации) или иным образом связана с такой информацией и которая используется для определения лица, подписывающего информацию [1].

Выделяют три вида электронной подписи:

простая электронная подпись (ПЭП);

неквалифицированная электронная подпись (НЭП);

квалифицированная электронная подпись (КЭП).

ПЭП позволяет подтвердить авторство, но не гарантирует неизменность документа после его подписания. ПЭП посредством имени пользователя и пароля применяется для получения доступа к информационным ресурсам [2].

КЭП позволяет определить автора подписанного документа и доказать неизменность содержащейся в нем информации. В КЭП заложены криптографические алгоритмы, которые обеспечивают защиту документов. КЭП может быть получена только в удостоверяющем центре, аккредитованном Минкомсвязи России, наделяет документы полной юридической силой, соответствует всем требованиям о защите конфиденциальной информации, используется для сдачи отчетности в контролирующие органы государственной власти и для участия в электронных торгах.

В НЭП, как и в КЭП, заложены криптографические алгоритмы. Она так же позволяет определить автора подписанного документа и доказать неизменность содержащейся в нем

информации. Но для получения НЭП достаточно наличие соответствующего программного приложения, выполняющего роль удостоверяющего центра и функционирующего на сервере локальной вычислительной сети предприятия. Такая подпись может использоваться для электронного документооборота предприятия, а также для отправки электронных документов из одной компании в другую. Во втором случае, стороны должны заключить между собой соглашение, устанавливающие правила использования и признания ЭП.

1 Простая электронная подпись

В настоящее время процедура контроля доступа пользователей к базовым информационным ресурсам корпоративной информационной системы (КИС) предприятия («1С:УПП», «1С:Документооборот», «1С:PM») включает в себя:

доступ к автоматизированному рабочему месту (АРМ), который осуществляется с использованием учетной записи пользователя в КИС, защищенной паролем; в процессе работы, средствами, предоставляемыми операционной системой (ОС) АРМ, предусматривается блокировка пользовательских сессий при отсутствии активности в течение 10 минут;

доступ в базовую информационную систему («1С:УПП», «1С:Документооборот», «1С:PM») осуществляется с использованием учетной записи пользователя в данной информационной системе, защищенной паролем.

Визирование документов (рис. 1) в системе «1С:Документооборот» участниками процесса согласования соответствует их подписанию простой ЭП, т. е. виза согласования однозначно идентифицирует согласовавшего документ пользователя, при этом, в соответствии с существующим на предприятии положением каждый сотрудник должен пользоваться только своим именем пользователя и паролем, передача их кому-либо запрещена.

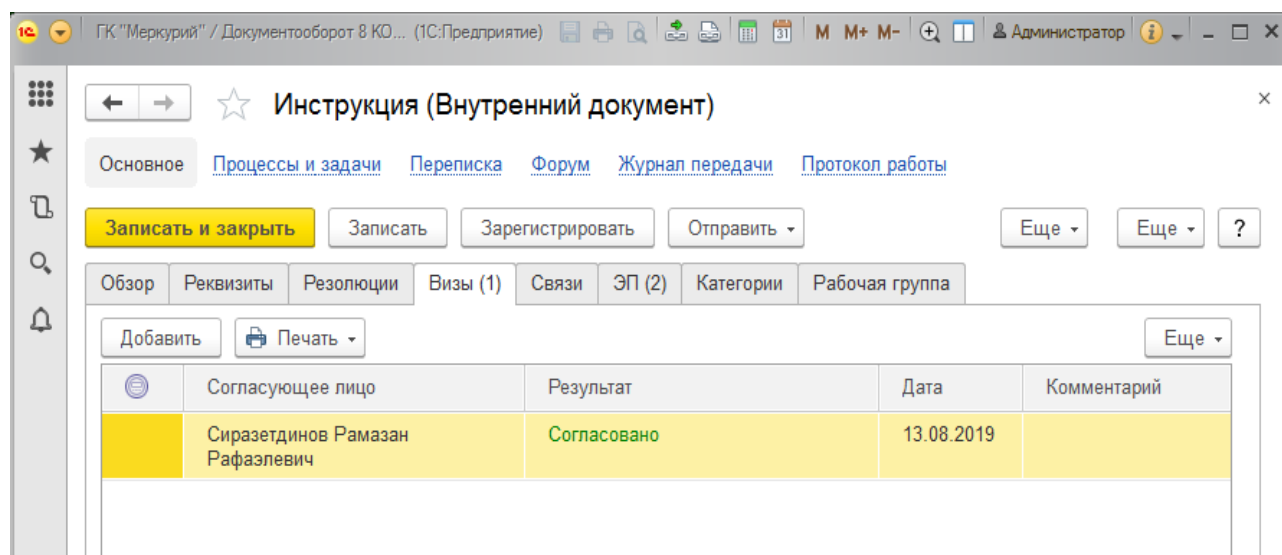


Рис. 1. Внутренний документ с визой согласования в системе «1С:Документооборот»

Существующие настройки системы «1С:Документооборот» позволяют осуществлять контроль вносимых изменений пользователями в согласованные всеми участниками процесса согласования документы. Внесение изменений в согласованный документ возможно только после изменения состояния этого документа администратором системы. При этом в разделе «История изменений» каждого документа сохраняется информация о дате, времени изменений и пользователе, производившем изменения (в том числе об изменении состояния документа администратором).

Применение ПЭП практически не требует дополнительных затрат.

2 Усиленная неквалифицированная электронная подпись

Механизм работы с усиленной неквалифицированной ЭП в системе «1С:Документооборот» реализован в рамках типовой конфигурации. Он позволяет использовать ЭП в двух вариантах:

1) Согласование документа сопровождать подписанием документа ЭП (рис. 2). В этом случае после подписания документа хотя бы одним пользователем дальнейшее внесение изменений в документ невозможно. Для внесения изменений необходимо отозвать все ЭП на документе. Отзывать ЭП можно только свои. Таким образом, для внесения исправлений в несогласованный документ необходимо, чтобы документ «обошёл» предварительно всех ранее согласовавших пользователей для отзыва их ЭП, что существенно усложняет процесс согласования документов.

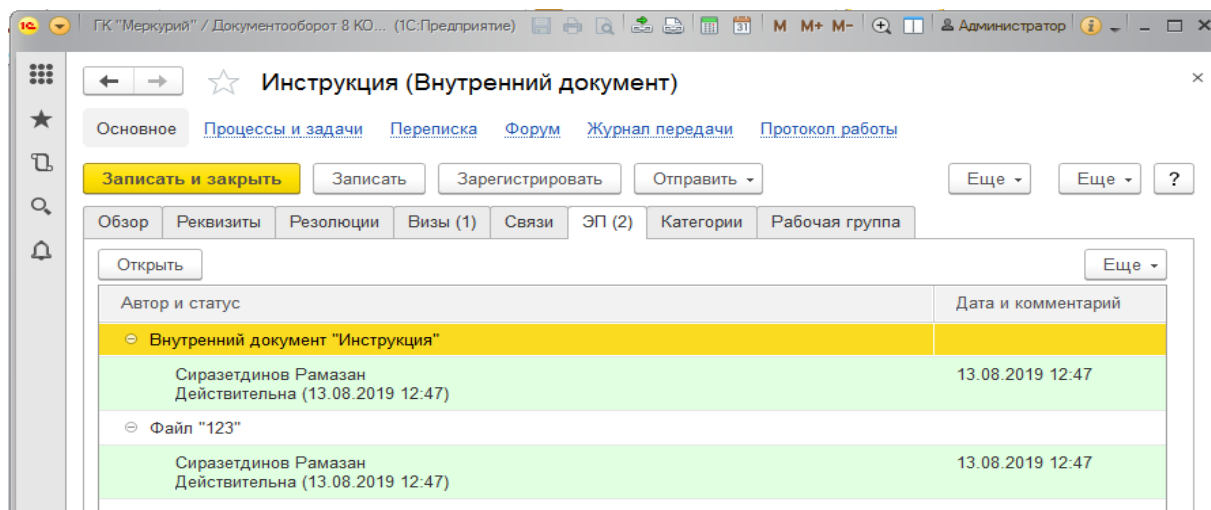


Рис. 2. Подписанный усиленной неквалифицированной электронной подписью внутренний документ в системе «1С:Документооборот»

2) Согласование документа сопровождать подписанием визы согласования (рис. 3). В этом случае алгоритм согласования не будет отличаться от существующего, за исключением необходимости подтверждения установки ЭП на визу согласования. Данный вариант является предпочтительным.

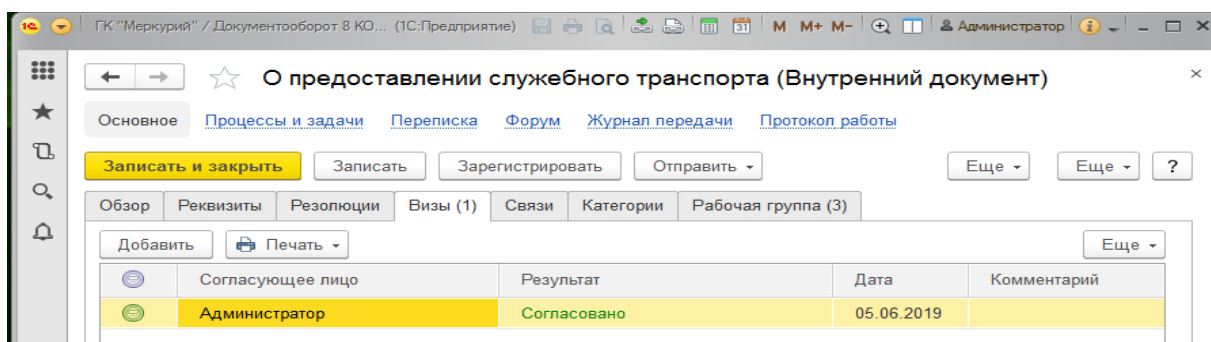


Рис. 3. Внутренний документ с визой согласования с усиленной неквалифицированной электронной подписью в системе «1С:Документооборот»

Хранение усиленной неквалифицированной ЭП возможно в реестре ОС АРМа пользователя, а также на сертифицированном носителе ЭП – *USB*-устройстве «рутокен» (рис. 4). При хранении на «рутокене» ЭП защищена физически (защищена по записи, не копируется, хранится в сейфе пользователя). Для подписания необходимо «рутокен» вставить в *USB*-порт АРМа и по запросу дополнительно ввести пароль. Взаимодействие ЭП на «рутокене» с системой «1С:Документооборот» осуществляется с помощью сертифицированного программного обеспечения (ПО) СКЗИ КриптоПро.



Рис. 4. Рутокены

2.1 Собственный неаккредитованный удостоверяющий центр

Одним из условий применения НЭП является наличие удостоверяющего центра корпоративной информационной системы.

Собственный удостоверяющий центр КИС, реализованный средствами *Microsoft*, функционирует в соответствии с существующим на предприятии положением об электронной подписи.

Удостоверяющий центр НЭП является программным приложением и выполняет следующие функции:

создает электронные сертификаты ключей проверки электронных подписей и выдает такие сертификаты лицам, обратившимся за их получением (заявителям);

устанавливает сроки действия сертификатов ключей проверки электронных подписей;

аннулирует выданные этим удостоверяющим центром сертификаты ключей проверки электронных подписей;

выдает по обращению заявителя средства электронной подписи, содержащие ключ электронной подписи и ключ проверки электронной подписи (в том числе созданные удостоверяющим центром) или обеспечивающие возможность создания ключа электронной подписи и ключа проверки электронной подписи заявителем;

ведет реестр выданных и аннулированных этим удостоверяющим центром сертификатов ключей проверки электронных подписей (далее – реестр сертификатов), в том числе включающий в себя информацию, содержащуюся в выданных этим удостоверяющим центром сертификатах ключей проверки электронных подписей, и информацию о датах прекращения действия или аннулирования сертификатов ключей проверки электронных подписей и об основаниях таких прекращения или аннулирования;

устанавливает порядок ведения реестра сертификатов и порядок доступа к нему, а также обеспечивает доступ лиц к информации, содержащейся в реестре сертификатов;

осуществляет проверку электронных подписей по обращениям участников электронного взаимодействия.

Ориентировочная стоимость оборудования и программного обеспечения для возможности использования НЭП при наличии собственного удостоверяющего центра представлена в табл. 1.

Таблица 1 – Ориентировочная стоимость аппаратного и программного обеспечения при наличии собственного удостоверяющего центра

№ п/п	Название оборудования и ПО	Кол-во*	Цена	Стоимость	Примечание
1	«Рутокен»	116	1 400,00	162 400,00	бессрочное
2	Лицензия СКЗИ КриптоПро CSP 4.0 сервер	1	37 000,00	37 000,00	бессрочное
3	Лицензия СКЗИ КриптоПро CSP 4.0 клиент	116	2 000,00	232 000,00	бессрочное
	ИТОГО:			431 400,00	

2.2 Использование сертификатов электронных ключей от аккредитованных удостоверяющих центров

При отсутствии собственного удостоверяющего центра возможно использование сертификатов электронных ключей, закупленных у сторонней организации, имеющей статус

аккредитованного удостоверяющего центра. Ориентировочная стоимость оборудования и ПО для возможности использования НЭП при отсутствии собственного удостоверяющего центра представлена в табл. 2.

Таблица 2 – Ориентировочная стоимость аппаратного и программного обеспечения при отсутствии собственного удостоверяющего центра

№ п/п	Название оборудования и ПО	Кол-во*	Цена	Стоимость	Примечание
1	«Рутокен»	116	1 400,00	162 400,00	бессрочное
2	Лицензия СКЗИ КриптоПро CSP 4.0 сервер	1	37 000,00	37 000,00	бессрочное
3	Лицензия СКЗИ КриптоПро CSP 4.0 клиент	116	2 000,00	232 000,00	бессрочное
4	Сертификат ЭЦП	116	1 500,00	174 000,00	ежегодное продление
	ИТОГО:			605 400,00	

Так же для применения НЭП потребуется:

выполнить комплекс работ по формированию ЭП на «рутокен» каждому пользователю;

установить и настроить программное обеспечение СКЗИ КриптоПро на терминальный сервер;

установить и настроить ПО СКЗИ КриптоПро на каждое рабочее место пользователя, участвующего в процедуре согласования;

провести обучение пользователей;

назначить ответственных за техническое сопровождение удостоверяющего центра, а также администратора центра;

осуществить разработку (коррекцию) соответствующих руководящих документов.

Заключение

Существующие (настроенные) механизмы защиты объектов документооборота в системе «1С: Документооборот» (использование простой ЭП) в рамках предприятия позволяют контролировать информацию о дате, времени изменений и пользователе, производившем изменения (в том числе об изменении состояния документа Администратором), являются достаточными для решения конфликтных ситуаций и не требуют дополнительных материальных затрат.

Для использования усиленной неквалифицированной ЭП желательно наличие собственного удостоверяющего центра. При отсутствии собственного удостоверяющего центра необходимо использование сертификатов электронных ключей, приобретенных у сторонней организации, имеющей статус аккредитованного удостоверяющего центра. При этом согласование документа «1С:Документооборот» целесообразно сопровождать подписанием визы согласования, а не самого документа.

Литература

1. Федеральный закон от 06.04.2011 № 63-ФЗ (ред. от 23.06.2016) «Об электронной подписи». URL:http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_112701/. (дата обращения 21.12.2017).
2. Ипатов М.Е., Белоус Д.В., Сиразетдинов Р.Р. Электронная подпись в системе внутреннего электронного документооборота. // Техника средств связи. № 1 (145). 2019.

References

1. Federal'niy zakon ot 06.04.2011 № 63-FZ (red. ot 23.06.2016) «Ob elektronnoy podpisii». [Federal Law dated 06.04.2011 No. 63-FZ (as amended on 23.06.2016) "On electronic signature"]. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_112701/. (data obrashcheniya 21.12.2017 [appeal date 12/21/2017]). (In Russian).
2. Ipatov M.E., Belous D.V., Sirazetdinov R.R. Elektronnaya podpis' v sisteme vnutrennego elektronnoy dokumentooborota [Electronic signature in the internal electronic document management system]. // Tekhnika sredstv svyazi [Technique of communication]. № 1 (145). 2019. (In Russian).

Статья поступила 05 августа 2019 г.

Информация об авторах

Белоус Денис Васильевич – кандидат технических наук. Заместитель начальника научно-исследовательского отделения развития информационных технологий и администрирования корпоративной информационной системы Публичного акционерного общества «Информационные телекоммуникационные технологии» (ПАО «Интелтех»). Область научных интересов: анализ, внедрение, сопровождение информационных систем. Тлф.: +7(911)798-99-70. E-mail: belousdv@inteltech.ru.

Сиразетдинов Рамазан Рафаэлевич – кандидат технических наук, доцент. Начальник научно-исследовательского отдела внедрения информационных технологий и сопровождения прикладного программного обеспечения ПАО «Интелтех». Область научных интересов: анализ, внедрение, сопровождение информационных систем. Тлф.: +7(921)755-58-68. E-mail: sirazetdinovrr@inteltech.ru
Адрес: 197342, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Кантемировская, дом 8.

Options for the use of electronic signatures in 1C:Document Management

D.V. Belous, R.R. Sirazetdinov

***Annotation.** The article is devoted to the main issues of the use of a simple and enhanced unqualified electronic signature in the 1C: Document Management system of PJSC Information Telecommunication Technologies. The properties and capabilities of electronic signatures are described in accordance with the Federal Law. The procedure for controlling user access to the basic information resources of the corporate information system is considered. It was determined that the sighting of documents in the 1C: Document Management system corresponds to a simple electronic signature, and the existing settings of the 1C: Document Management system allow users to control the changes made to documents agreed upon by all participants in the approval process. The use cases of enhanced unskilled electronic signatures in the 1C: Document Management system are given. A more preferable option is signing a visa approval. To use an unqualified electronic signature, a certification center is required. The author describes the functions of a certification center that ensures the creation of electronic certificates of keys for verifying electronic signatures and verifies electronic signatures upon requests from participants in electronic interaction. The complex of works necessary for the application of an enhanced unqualified electronic signature is defined. Examples of the estimated cost of hardware and software for using an unqualified electronic signature if you have your own certification center and when using electronic key certificates purchased from a third-party organization with the status of an accredited certification center are given.*

***Keywords:** simple electronic signature, enhanced unqualified electronic signature, 1C: Document management.*

Information about Authors

Belous Denis Vasilievich – Candidate of Technical Sciences. Deputy Head of the Research Department for the Development of Information Technologies and Administration of the Corporate Information System of the Public Joint-Stock Company Information Telecommunications Technologies (PJSC Inteltech). Research interests: analysis, implementation, maintenance of information systems. Phone: +7 (911) 798-99-70. E-mail: belousdv@inteltech.ru.

Sirazetdinov Ramazan Rafaelovich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor. Head of the Research Department for the Implementation of Information Technologies and Maintenance of Applied Software of PJSC Inteltech. Research interests: analysis, implementation, maintenance of information systems. Phone: +7(921)755-58-68. E-mail: sirazetdinovrr@inteltech.ru.

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

Для цитирования: Белоус Д.В., Сиразетдинов Р.Р. Варианты использования электронной подписи в системе «1С:Документооборот» // Техника средств связи. 2019. № 3 (147). С. 85-90.

For citation: Belous D.V., Sirazetdinov R.R. Options for the use of electronic signatures in 1C: Document Management. Means of communication equipment. 2019. No 3 (147). P. 85-90. (In Russian).

ОБЪЕКТЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ И ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОБЛАСТИ РАЗРАБОТКИ СРЕДСТВ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ

УДК 004.722

Вопросы формирования технических требований при проведении закупок радиоэлектронного оборудования

Филиппов В.П.

Аннотация: В статье рассмотрены процессы формирования требований и правила составления технического описания радиоэлектронного оборудования при формировании закупочной документации в рамках Федерального закона 223-ФЗ. Нормативные документы регламентируют состав требований к закупаемому оборудованию, заказчик обязан соблюдать установленные требования и ограничения при описании предмета закупки, а также соблюдать перечисленные в статье принципы формирования технических требований. Предложены варианты составления технических требований, минимизирующие риски обжалования закупочной документации. Рассмотрены правила составления технических требований к закупаемому радиоэлектронному оборудованию, определены риски в случае отступления от указанных правил. Проанализированы последствия указания в технических требованиях товарных знаков оборудования при закупках вне рамок государственного оборонного заказа. Предложены варианты составления технических требований, содержащих параметры эквивалентности продукции.

Ключевые слова: закупочная процедура, документация о закупке, радиоэлектронное оборудование, технические требования, техническое описание, товарный знак, эквивалентность продукции.

Введение

Эффективность проведения закупочной процедуры определяется степенью удовлетворения заказчика результатами закупки. Нарекания заказчика к результатам закупки могут быть вследствие несоответствия закупленного оборудования ожиданиям, которые возлагал заказчик до проведения закупки. Закон не позволяет отменять результаты закупки на том основании, что предложенный участником закупки товар соответствует заданным требованиям, но не соответствует ожиданиям заказчика. Поэтому все ожидания заказчика должны быть изложены в техническом задании к закупке. От того, насколько полно и грамотно будет сформировано техническое задание на закупку, зависит эффективность закупки.

Правовое поле для проведения закупочных процедур сформировано:

Гражданским Кодексом Российской Федерации;

Федеральным законом от 05.04.2013 г. № 44-ФЗ «О контрактной системе в сфере закупок товаров, работ, услуг для обеспечения государственных и муниципальных нужд» (далее – Закон 44-ФЗ);

Федеральным законом от 18.07.2011 г. № 223-ФЗ «О закупках товаров, работ, услуг отдельными видами юридических лиц» (далее – Закон 223-ФЗ);

Федеральным законом от 26.07.2006 г. № 135-ФЗ «О защите конкуренции» (далее – Закон 135 –ФЗ) и др.

Нарушение порядка проведения закупочных процедур является административным правонарушением, ответственность за которое устанавливается в соответствии с «Кодексом Российской Федерации об административных правонарушениях» от 30.12.2001 г. № 195-ФЗ.

Частью 2 ст. 2 Закона 223-ФЗ установлено, что документом, регламентирующим закупочную деятельность заказчика, является Положение о закупке. В развитие норм 223-ФЗ в 2015 году государственная корпорация «Ростех» разработала «Единое положение о закупке Государственной корпорации «Ростех»» (далее – «Положение...»). «Положение...» утверждено Наблюдательным советом Государственной корпорации «Ростех». Тот факт, что

в Наблюдательный совет входят руководители федеральных органов власти, дает основания предполагать, что документ получил одобрение на государственном уровне. Соблюдение норм «Положения...» контролируют как структуры госкорпорации «Ростех», так и органы Федеральной антимонопольной службы.

К «Положению...» присоединилось большинство предприятий и организаций, входящих в госкорпорацию «Ростех». По состоянию на 01.07.2019 г. 683 предприятия объявили, что они в своей деятельности руководствуются «Положением...». Часть из этих предприятий подпадают под действие «Положения...» в силу требований части 2 ст. 1 Закона 223-ФЗ («субъекты Закона 223-ФЗ»). Большая же часть предприятий госкорпорации «Ростех» не является «субъектами Закона 223-ФЗ» и присоединились к «Положению...» добровольно. Таким образом, регулирование закупочной деятельности, установленное Законом 223-ФЗ, распространяется значительно шире, чем это предусмотрено ст. 1 Закона. Большинство предприятий, выпускающих радиоэлектронное оборудование в стране, руководствуются в своей деятельности «Положением...», поэтому в настоящей работе правовое поле для закупочной деятельности рассматривается с учетом норм «Положения...».

Формирование требований к радиоэлектронной продукции

Закон 223-ФЗ и «Положение...» разделяют закупки на конкурентные и неконкурентные (закупки у единственного поставщика). При закупках у единственного поставщика контрагент уже определен до начала закупки и результативность закупки определяется в ходе преддоговорных переговоров. Эффективность закупок у единственного поставщика зависит не от качества проведения закупочной процедуры, а от выстраивания взвешенных хозяйственных отношений между заказчиком и поставщиком. Поэтому в дальнейшем в настоящей работе рассматриваются только конкурентные закупки.

Основным фактором, влияющим на результативность конкурентной закупочной процедуры радиоэлектронного оборудования, является качество формирования технического описания предмета закупки. Как правило, техническое описание предмета закупки реализуется в форме технического задания на закупку или технических требований к товару.

Иногда заказчики приводят описание предмета закупки в разделах закупочной документации, которые называются «Техническая часть», «Спецификация», «Проектно-сметная документация». Независимо от употребляемого термина необходимо контролировать, чтобы описание закупаемых товаров, работ и услуг были конкретными, понятными и не противоречили законодательству – Законам 44-ФЗ, 223-ФЗ и 135-ФЗ.

Правила описания предмета закупки в документации о конкурентной закупке установлены в части 6.1 ст. 3 Закона 223-ФЗ. В законе не установлены требования к наличию в документации о конкурентной закупке технического задания или технических требований. Также отсутствует прямое указание на наличие в документации о закупке документа под названием «Техническое задание» или «Технические требования» в «Положении...». В Законе 223-ФЗ и в «Положении...» говорится о требованиях к продукции, об описании предмета закупки. Термины «Техническое задание» или «Технические требования» применены только в типовых формах документов, разработанных ГК «Ростех» в развитие «Положения...». Так, в одном документе говорится о технических требованиях к предмету закупки (например, в разделе 9 в типовой документации по запросу предложений и др.), в другом – о техническом задании (например, в приложении 2 к запросу на проведение закупки).

В литературе по закупочной деятельности используют и термин «Техническое задание», и термин «Технические требования» как синонимы при описании предмета закупки. При этом термин «Техническое задание» стилистически более подходит к закупкам работ и услуг, а термин «Технические требования» – к закупке товара.

В настоящей статье используется термин «Технические требования», поскольку он ближе к формулировкам раздела 10.3 «Требования к продукции (предмету закупки)» «Положения...». Все полученные в статье выводы и заключения в равной степени распространяются и на техническое задание.

Состав требований к описанию предмета закупки, установленные нормативными документами, различаются между собой, как указано в табл. 1.

Таблица 1 – Требования к описанию продукции

Характеристика продукции	Наличие требования в Законе 223-ФЗ	Наличие требования в «Положении...»	Наличие требования для обеспечения выполнения требований Закона 223-ФЗ по эквивалентности
По безопасности	Должны быть установлены	Должны быть установлены	Должны быть установлены
По качеству	Должны быть установлены	Должны быть установлены	Должны быть установлены
По техническим характеристикам	Должны быть установлены	Должны быть установлены	Должны быть установлены
По функциональным характеристикам (потребительским свойствам)	Должны быть установлены	Должны быть установлены	Должны быть установлены
По размерам	Должны быть установлены	Должны быть установлены	Должны быть установлены
По упаковке	Должны быть установлены	Должны быть установлены	Должны быть установлены
По отгрузке товара	Должны быть установлены	Должны быть установлены	Должны быть установлены
Количественные показатели	Не регламентировано	Должны быть установлены	Должны быть установлены
Эксплуатационные показатели	Не регламентировано	Должны быть установлены	Должны быть установлены
Показатели продукции, в соответствии с которыми будет определяться эквивалентность товара	Не регламентировано	Не регламентировано	Должны быть установлены
Показатели, в соответствии с которыми будет оцениваться эквивалентная продукция	Не регламентировано	Не регламентировано	Должны быть установлены

В ходе составления технических требований к закупаемой продукции заказчик обязан соблюдать ряд требований и ограничений. При закупке радиоэлектронного оборудования требования к продукции должны устанавливаться на основе предусмотренных техническими регламентами в соответствии с законодательством Российской Федерации о техническом регулировании, документами, разрабатываемыми и применяемыми в национальной системе стандартизации, принятыми в соответствии с законодательством Российской Федерации о стандартизации. Такими документами в первую очередь являются государственные стандарты.

Если заказчиком в документации о закупке не используются установленные в соответствии с законодательством Российской Федерации требования к безопасности, качеству, техническим характеристикам, функциональным характеристикам (потребительским свойствам), эксплуатационным характеристикам товара, работы, услуги, к размерам, упаковке, отгрузке товара, к результатам работы, в документации о закупке должно содержаться обоснование необходимости использования иных требований, связанных с определением соответствия поставляемого товара, выполняемой работы, оказываемой услуги потребностям заказчика.

Технические требования должны формироваться на основе следующих принципов:

1. Требования к продукции должны быть измеряемыми и выражаться в числовых значениях или в виде безальтернативных показателей (наличие – отсутствие).

2. Должны использоваться общеизвестные (стандартные) показатели, термины и сокращения, предусмотренные действующей нормативно-технической документацией. Требования к продукции не должны приводить к необоснованному ограничению количества участников процедуры закупки.

3. Если у закупаемой продукции имеются особенности нахождения в обороте или требования к ее безопасности (в том числе к потребительской, промышленной, экологической), предусмотренные законодательством требования должны устанавливаться в соответствии с существующими ограничениями.

4. Требования к продукции не должны приводить к необоснованному ограничению количества участников процедуры закупки. Пункт 2 части 1 ст. 17 Закона № 135-ФЗ «О защите конкуренции» гласит, что при проведении торгов запрещаются действия, которые приводят или могут привести к недопущению, ограничению или устранению конкуренции, в том числе запрещено создавать участнику торгов или нескольким участникам торгов преимущественные условия участия в торгах. В настоящее время ограничить конкуренцию с помощью технического задания можно, указав в нем конкретные технические характеристики товара. Поэтому закупки с «жесткими требованиями» к товару вызывают дополнительное внимание контролирующих органов.

Выполнение четвертого принципа является сложной проблемой, так как наличие любого требования к продукции в той или иной степени ограничивает круг участников процедуры закупки. Предлагается сделать акцент на *обоснованности* требований к товару, что достаточно просто реализуется при закупке радиоэлектронного оборудования.

Целесообразно составить отдельный технический документ, в котором указывается максимальное количество технических требований с «жесткими» допусками и слова обоснования, что другие значения не приемлемы. Это позволит не допустить к проведению закупочной процедуры поставщиков некачественной продукции. Такой документ необходимо подписать у технического руководителя работ и приобщить к закупочным документам. Наличие такого документа позволит парировать попытки обжаловать «жесткие» требования к продукции, ограничивающие конкуренцию.

При рассмотрении указанного принципа следует учитывать и различие в подходах к оценке ограничения конкуренции Федеральной антимонопольной службы (ФАС) и судебных инстанций.

В Решении ФАС России от 14.05.2019 г. по делу № 19/44/99/250 содержится вывод, что документация об Аукционе устанавливает требования к описанию участниками закупки в составе своих заявок на участие в Аукционе, помимо конкретных показателей товаров, используемых при выполнении работ, дополнительные сведения о результатах испытаний таких товаров, показателях технологических процессов изготовления товаров, не предусмотренные Законом. Указанные дополнительные требования приводят к ограничению количества участников закупки, поскольку Закон не обязывает участника закупки при заполнении заявки иметь в наличии товар, используемый при выполнении работ, для

представления подробных сведений о результатах испытаний товаров, показателях технологических процессов изготовления товаров. ФАС России отменила результаты аукциона, т. к. в ходе закупочной процедуры аукционная комиссия из 13 заявок отклонила 12 заявок, как несоответствующие всем требованиям аукционной документации.

Судебные инстанции (Постановление Девятого Апелляционного арбитражного суда от 03.07.2017 г. № 09АП-265448/2017) под ограничением конкуренции понимают лишь незаконное ограничение круга потенциальных участников торгов путем установления требований, не соответствующих требованиям законодательства. Условие закупочной документации может рассматриваться как ограничивающее конкуренцию, если антимонопольный орган докажет, что такое условие было включено в документацию специально для обеспечения победы конкретного хозяйствующего субъекта.

Правила составления технических требований

В общем случае при формировании технических требований необходимо соблюдать следующие правила.

1. В технических требованиях указываются функциональные характеристики (потребительские свойства), технические и качественные характеристики, а также эксплуатационные характеристики (при необходимости) предмета закупки.

2. В технические требования не должны включаться требования или указания в отношении товарных знаков, знаков обслуживания, фирменных наименований, патентов, полезных моделей, промышленных образцов, наименование страны происхождения товара, за исключением случаев, когда не имеется другого способа, обеспечивающего более точное и четкое описание указанных характеристик предмета закупки. Под термином «товарный знак», как указано в ст. 1477 Гражданского Кодекса РФ, понимается обозначение, которое обеспечивает индивидуализацию товаров.

3. Если всё-таки, в силу указанного выше пункта 2, используется указание на товарный знак, то необходимо дополнительно включать слова «(или эквивалент)».

При покупке сложного радиоэлектронного оборудования опираются на тот факт, что функциональные, технические и качественные характеристики, а также эксплуатационные характеристики оборудования приведены в технических условиях (ТУ) на изготовление этого оборудования, имеющих десятичный номер. Однако десятичный номер оборудования подпадает под определение товарного знака, данного в Гражданском Кодексе, поэтому ссылка на ТУ дается в тех случаях, когда это допустимо.

Исполнение третьего правила вызывает наибольшую сложность при формировании технических требований и при проведении закупочной процедуры.

Закупать радиоэлектронное оборудование без указания товарных знаков, знаков обслуживания, фирменных наименований, патентов, полезных моделей, промышленных образцов практически невозможно. Такое оборудование изготавливается, проверяется и испытывается, согласно конструкторской документации и технических условий. Включить все требования КД и ТУ в «Технические требования» не удастся из-за совокупного объема конструкторских документов. Поэтому заказчик вынужден указывать в технических требованиях товарные знаки, полезные модели, промышленные образцы, сопровождая их словами «(или эквивалент)».

Выполнение требования Закона 223-ФЗ о наличии в описании предмета закупки слов «(или эквивалент)» осложнено тем, что в нормативных документах отсутствует определение термина «эквивалент». В Законе 135-ФЗ есть определение «взаимозаменяемых товаров», а «эквивалента» – нет. Поэтому в документации о закупке заказчику необходимо дать свое определение, какие товары являются эквивалентными, а какие – нет.

При описании эквивалентности заказчик должен исходить из того, что в состав эквивалентных товаров должно входить более одного типа оборудования. Если

эквивалентность не расширяет круг конкуренции, («эквивалентность ради эквивалентности»), то такая закупка может быть отменена контрольными органами.

Кроме того, следует учитывать, что «базовый» прибор и эквивалент будут соответствовать установленным требованиям эквивалентности, и сравнение между ними будет производиться по цене, без учета того, что «базовый» прибор или эквивалент будут иметь технические преимущества относительно друг друга.

Процедура закупки товара с использованием в технических требованиях слова «(или эквивалент)», в соответствии с «Положением...» должна производиться с возможностью для участника подавать альтернативные предложения. В этом случае участник закупочной процедуры вправе подать не одно предложение, а «основное» предложение и «альтернативное» предложение, причём «альтернативное» не должно отличаться от «основного» только ценой.

Закупка радиоэлектронного оборудования по техническим требованиям, содержащим слова «(или эквивалент)», несёт для заказчика большие риски получить не ту продукцию, которую планировали закупить. Риски заключаются в следующем:

1. При наличии в технических требованиях слов «(или эквивалент)», заказчик обязан в документации о закупке привести параметры эквивалентности, по которым закупочная комиссия должна сделать свою оценку заявок участников закупки. Каких-либо требований по содержанию и количеству параметров эквивалентности в нормативных документах нет. Разработать корректные параметры эквивалентности в отношении радиоэлектронного оборудования, не опираясь на технические условия и конструкторскую документацию «основного» изделия, практически невозможно. А отсылка к технической документации «основного» изделия рассматривается некоторыми контрольными органами как ограничение конкуренции. На практике заказчики в качестве параметров эквивалентности используют технические характеристики «основного» изделия без ссылок на источник информации. При этом сохраняется риск отмены закупочной процедуры в случае, если контрольный орган выявит совпадение между параметрами эквивалентности и параметрами «основного» изделия. С целью минимизации этого риска предлагается в документации о закупке приводить параметры, при наличии которых продукция *не может считаться эквивалентом*.

2. В ходе закупочной процедуры может быть предложен некий аналог дорогого «фирменного» оборудования, которое планировалось к закупке. Если такой аналог будет соответствовать требованиям эквивалентности, то договор заказчик будет вынужден заключить на поставку более дешёвого аналога, поскольку в настоящее время заказчик не имеет возможности отказаться от заключения договора поставки после открытия доступа к поданным заявкам. Таким образом, несмотря на то, что денежные средства выделены на дорогостоящее качественное оборудование, закупить придется более дешёвый, и, как правило, менее надёжный, аналог.

3. При закупке сложного оборудования, каким является радиоэлектронное оборудование, заказчик не в состоянии проверить соответствие изделия всем техническим требованиям к нему при приемке оборудования. В той или иной степени, заказчик принимает товар с учетом степени доверия к системе менеджмента качества (СМК), действующей на предприятии – изготовителе товара. СМК предприятий, выпускающих «фирменное» радиоэлектронное оборудование, имеют соответствующие сертификаты и пользуются доверием потребителей. В случае поставки аналога (эквивалента), имеется риск получить продукцию с не полностью подтвержденными характеристиками.

Учитывая перечисленные риски, заказчики в некоторых случаях указывают в закупочной документации товарные знаки, полезные модели, промышленные образцы без слов «(или эквивалент)», особенно в документации на широко распространенную продукцию (смартфоны, картриджи, радиотехника, измерительные приборы и др.). При этом они

учитывают то, что закупки сверхмалых объемов такой продукции (1-10 единиц) не является фактором, ограничивающим конкуренцию. Для большинства видов продукции такой продукции в стране в настоящее время сформирован достаточно широкий круг потенциальных поставщиков, способных поставить такие объемы продукции. А так как в контрольный орган на содержание закупочной документации пожаловаться может только то лицо, интересы которого нарушены, то и рассмотрение закупочной документации контрольный орган будет производить с точки зрения нарушения закона о конкуренции (Закона 135-ФЗ), а не нарушений Закона 223-ФЗ.

Нормативные документы разрешают в отдельных случаях не указывать слова «(или эквивалент)» в «Технических требованиях». Такое допускается при следующих условиях:

1. Несовместимости товаров, на которых размещаются другие товарные знаки, и необходимости обеспечения взаимодействия таких товаров с товарами, используемых заказчиком;

2. Закупок запасных частей и расходных материалов к машинам и оборудованию, используемым заказчиком, в соответствии с технической документацией на указанные машины и оборудование

3. Закупок товаров, необходимых для исполнения государственного или муниципального контракта

4. Закупок с указанием конкретных товарных знаков, знаков обслуживания, патентов, полезных моделей, промышленных образцов, места происхождения товара, изготовителя товара, если это предусмотрено условиями международных договоров Российской Федерации или условиями договоров юридических лиц, на которых распространяются нормы Закона 223-ФЗ, в целях исполнения этими юридическими лицами обязательств по заключенным договорам с юридическими лицами, в том числе иностранными юридическими лицами.

Чаще всего указанные разрешения используют при выполнении закупок в рамках исполнения обязательств по государственному оборонному заказу (ГОЗ). Если закупка не подпадает под условия разрешений, то в «Технических требованиях» необходимо указывать слова «(или эквивалент)», не смотря на риски, указанные выше. Отсутствие слов «(или эквивалент)» может быть расценено как нарушение, ответственность за которое предусмотрена частью 7 ст. 7.32.3 «Кодекса Российской Федерации об административных правонарушениях» от 30.12.2001 г. № 195-ФЗ.

Выводы

При проведении закупочных процедур в рамках исполнения обязательств по государственному оборонному заказу указание в технических требованиях к закупаемой продукции конкретных товарных знаков, знаков обслуживания, патентов, полезных моделей, промышленных образцов, места происхождения товара является обязательным. Если закупка осуществляется вне рамок государственного оборонного заказа, то указание торговых знаков должно сопровождаться словами «(или эквивалент)». При этом заказчик должен самостоятельно оценить как риски указания слов «(или эквивалент)», так и риски отсутствия этих слов.

Литература

1. «Единое положение о закупке Государственной корпорации «Ростех» / [Электронный ресурс]. 01.07.2019. – URL: www.rt-ci.ru (дата обращения 01.07.2019).

2. Дашков С.Б. Изменение подходов к указанию товарных знаков с 1 июля 2018 г. в связи с изменениями Закона 223-ФЗ / Доклад на 3 Стратегической сессии ГК «Ростех» / [Электронный ресурс]. 01.07.2019. – URL: www.rt-ci.ru (дата обращения 01.07.2019).

References

1. "Uniform Provision on Procurement of State Corporation Rostech/[Electronic Resource]. 01.07.2019. - URL: www.rt-ci.ru (date of appeal 01.07.2019).
2. Dashkov S.B. Change of approaches to the designation of trademarks from July 1, 2018 in connection with the changes of Law 223-FZ/Report at the 3rd Strategic Session of State Corporation Rostech/[Electronic Resource]. 01.07.2019. - URL: www.rt-ci.ru (date of appeal 01.07.2019).

Статья поступила 12 августа 2019 г.

Информация об авторе

Филиппов Владимир Петрович – Начальник отдела ПАО «Интелтех», председатель закупочной комиссии ПАО «Интелтех». Кандидат технических наук.

Тел.: +79052136315. E-mail: vphilippov@yandex.ru.

Адрес: 198266, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Нахимова, д. 7, корп.3, кв.15.

Issues of formation of technical requirements for the procurement of electronic equipment

V.P. Filippov

***Annotation:** The article deals with the processes of formation of requirements and rules for the technical description of electronic equipment in the formation of procurement documentation under the Federal law 223-FZ. Normative documents regulate the composition of the requirements for the purchased equipment, the customer is obliged to comply with the established requirements and restrictions in the description of the subject of purchase, as well as comply with the principles listed in the article of formation of technical requirements. The proposed options for developing the technical requirements that minimize the risks of appeal of the procurement documentation. Rules of drawing up technical requirements to the purchased radio electronic equipment are considered, risks in case of deviation from the specified rules are defined. Analyzed the impact of the instructions given in the technical specifications of the trademarks in the procurement of equipment outside the framework of the state defense order. Variants of drawing up the technical requirements containing parameters of equivalence of production are offered.*

***Keywords:** procurement procedure, procurement documentation, electronic equipment, technical requirements, technical description, trademark, product equivalence.*

Information about Authors

Filippov Vladimir Petrovich – Head of Department of PJSC "Inteltech", Chairman of the Procurement Commission of PJSC "Inteltech". Candidate of Technical Sciences.

Tel.: +79052136315. E-mail: vphilippov@yandex.ru.

Address: Russia, 198266, Saint-Petersburg, Nahimova ul. 7/3-15.

Для цитирования: Филиппов В.П. Вопросы формирования технических требований при проведении закупок радиоэлектронного оборудования // Техника средств связи. 2019. № 3 (147). С. 91-98.

For citation: Filippov V.P. Issues of formation of technical requirements for the procurement of electronic equipment // Means of communication equipment. 2019. No 3 (147). P. 91-98. (In Russian).



Блок 4C1I



Блок каналов E1 K8E



Блок абонентских комплектов АК4



Модуль коммутационный



Модуль шлюзовой



Модуль услуг



Блок Ethernet коммутатора K8ET



Блок десятипроводных стыков 4K10CT



Блок питания АК4-БП



Блок процессорный ЦП



Блок речепреобразующих устройств РПУ

Многопротокольный интегрированный комплекс связи МИКС-02-2

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

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

Группа исполнения:

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

Состоит из:

1. Модуля коммутационный изделия МИКС-02-2:

Обеспечивает протокольное и физическое сопряжение с оборудованием связи по каналам:

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

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

2. Модуля шлюзовой изделия МИКС-02-2:

Выполняет функции маршрутизатора.

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

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

Изделие содержит всегда только один МШ.

3. Модуля услуг изделия МИКС-02-2:

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

В изделие может включаться до пяти МУ.