

ТЕХНИКА СРЕДСТВ СВЯЗИ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

№3 (143). 2018

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

Николашин Ю.Л. Генеральный директор ПАО «Интелтех». к.т.н.

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. Заслуженный изобретатель РФ. Заслуженный работник высшей школы РФ. Заместитель генерального директора АО «НИИ «Рубин» по научной работе. Д.т.н, профессор.

Курнос В.И. Заслуженный работник высшей школы РФ. Заместитель генерального директора АО «НИИ «Рубин» по научной работе. Д.т.н, профессор.

Лычагин Н.И. 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

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

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

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

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

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

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

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

Минаков В.Ф. ФИНЭК (г. Санкт-Петербург). Д.т.н., профессор

Михайлов Р.Ю. Череповецкое высшее военное 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 им. Петра Великого (г. Серпухов). Д.т.н., профессор

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

Саенко И.Б. СПИИ РАН (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. Higher School Honored Employee of the Russian Federation

Lychagin N. I. Deputy Director of Science and Technology Development Center of PJSC «Inteltech». Doctor of Technical Sciences, Professor

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

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

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

Chudnov A.M. Department Professor of the Communications Military Academy named after Marshal of the Soviet Union S.M. Budenniy. 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. "Rostov-on-Don Scientific Radio Research Institute"(Rostov-On-Don). Doctorate of Technical Sciences, Associate Professor

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

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

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

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

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

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

Minakov V.F. FINEK (St. Petersburg). Doctor of Technical Sciences, Professor

Mikhailov R.Y. Cherepovets Higher Military School of radio electronics (Cherepovets). Doctorate of Technical Sciences

Odоеvsky 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 RVSН Military Academy (Serpukhov). Doctor of Technical Sciences, Professor

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

Saenko I.B. SPII RAN (St. Petersburg). Doctor of Technical Sciences, Professor

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

СОДЕРЖАНИЕ

Николашин Ю. Л., Давыдчик В. В., Жуков Г. А. <i>Определение оптимального состава малогабаритного приемного комплекса средств связи подвижного управляемого объекта и метод ее решения</i>	4
Мирошников В. И., Миронов А. А. <i>Основные требования и принципы построения системы обеспечения информационной безопасности беспроводной мультимедийной сети корпоративных пользователей</i>	11
Кулешов И. А., Солозобов С. А. Шевченко В. В. <i>Проблемы радиосвязи в Арктике</i>	21
Кулешов И. А., Солозобов С. А. Шевченко В. В. <i>Повышение устойчивости управления и увеличение пропускной способности сетей радиосвязи за счет резервирования (по опыту XXII Олимпийских и XI Паралимпийских игр в Сочи)</i>	31
Ардашов А. А., Арсеньев В. Н., Силантьев С. Б., Зайцев М. А. <i>Оценивание характеристик точности систем управления перспективных средств выведения по неоднородным статистическим данным</i>	38
Бобровский В. И., Латыпова С. С., Скворцов А. К. <i>Повышение эффективности OFDM модемов на основе модификации сигнальных конструкций поднесущих группового сигнала</i>	42
Бобрус А. В., Бобрус В. А. <i>Фразовая разборчивость речи в сети WIN-T при задержке пакетов в условиях конфликта со средствами РЭБ</i>	51
Васильев Н. В., Забродин О. В., Яшин А. И. <i>Автоматизированный программный комплекс оценки качества обслуживания в телекоммуникационной сети</i>	56
Гришин В. Д., Колесиков К. Г., Москвин Б. В. <i>Анализ направлений повышения устойчивости целевого функционирования сложных организационно-технических комплексов военного назначения</i>	62
Ломакова А. С., Русин С. В., Савенкова Ю. В. <i>Приближенная оценка скорости передачи информации в КВ радиоканале с однолучевым распространением радиоволн</i>	67
Одоевский С. М., Салюк Д. В., Степаненко В. В. <i>Обобщенная постановка задач оптимизации, решаемых при частотно-территориальном планировании сетей широкополосного радиодоступа</i>	72
Пророк В. Я., Скирда В. С., Горянский А. С. <i>Методика обоснования рационального состава и структуры УУТК РЛС ВЗГ</i>	76
Пророк В. Я., Зыков А. М., Петрич Д. О., Шульгин А. А., Батурина Е. А. <i>Адаптивное сопровождение процесса формирования профессиональных компетенций обучающегося</i>	80
Талагаев В. И. <i>Методологический подход к анализу и обеспечению устойчивости систем морской радиосвязи</i>	86
Андреев С. Г., Голов Е. Г. <i>Методика повышения уровня подготовленности операторов ЗРК на УТС</i>	92
Будко В. Н., Чернецкая А. С. <i>Модель применения прикладного программного обеспечения лингвоориентированной компьютерной военной игры для подготовки специалистов связи</i>	99

УДК 621.317.35

Ю. Л. Николашин

кандидат технических наук, генеральный директор

В. В. Давыдчик

кандидат технических наук, заместитель начальника отдела

Г. А. Жуков

кандидат технических наук, доцент, ученый секретарь Научно-технического совета
ПАО «Информационные телекоммуникационные технологии»

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО СОСТАВА МАЛОГАБАРИТНОГО ПРИЕМНОГО КОМПЛЕКСА СРЕДСТВ СВЯЗИ ПОДВИЖНОГО УПРАВЛЯЕМОГО ОБЪЕКТА

АННОТАЦИЯ. В статье поставлена задача определения целесообразного состава бортового малогабаритного приемного комплекса средств связи подвижного управляемого объекта, действующего в разнообразных условиях.

Предложена математическая модель функционирования средств связи подвижного управляемого объекта, учитывающая условия обстановки, пространственно-временные особенности движения объекта и требования к использованию средств связи. На основе модели введены показатели эффективности и предложен логико-аналитический метод определения их значений при принятых допущениях.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: подвижный управляемый объект, малогабаритные средства связи, функционирование объекта, математическая модель функционирования средств связи объекта, пространственно-временные особенности движения объекта, требования к средствам связи, показатель эффективности, целесообразный состав, логико-аналитический метод.

Введение

В настоящее время интенсивно развивается направление по созданию маломерных плавучих подвижных объекты двойного назначения, предназначенных для использования в ближних и удаленных районах мирового океана. К классу таких объектов относятся роботизированные комплексы морского базирования (РТК МБ), включая автономные необитаемые катера и автономные необитаемые подводные аппараты.

Для обеспечения эффективного функционирования РТК МБ на них устанавливаются бортовые средства управления и связи, обладающие определенными функциональными возможностями, в том числе по обеспечению приема сообщений от передающих радиосредств пункта управления [1,2,3]. Технический облик бортовых средств связи определяется, как правило, на этапе проектирования и создания таких

объектов, причем к этим средствам предъявляются высокие требования по массогабаритным характеристикам, электропотреблению, условиям и режимам использования, а также к стоимости их создания и срокам изготовления.

Для обеспечения выполнения всей совокупности функциональных требований формируется состав комплекса управления и связи РТК МБ на базе существующих или вновь разрабатываемых технических средств, обеспечивающих достижение требований, предъявляемых к управлению объектом.

Постановка задачи

При создании управляемого объекта (РТК МБ), предназначенного для использования в определенных акваториях (зонах, районах) и средах пространства (поверхность и глубины акваторий), часть площадей объекта, ресурс

электроэнергии и лимит финансирования выделяется для средств управления и связи.

В общей постановке задача состоит в формировании состава комплекса средств управления и связи, обеспечивающего выполнение всей совокупности требований. Решение этой задачи предполагает задание целевой функции и определение показателей эффективности, в качестве которых предлагается использовать вероятностно-временные и пространственные характеристики, обусловленные ожидаемыми состояниями РТК МБ и условиями использования бортового комплекса управления и связи.

Описание модели

Роботизированный комплекс морского базирования может находиться в заданных районах акватории и, двигаясь на различных глубинах, принимать на свои средства связи сообщения от береговых передающих центров. Из числа возможных приемных средств с заданными характеристиками требуется составить (сформировать) бортовой комплекс связи объекта, отвечающий функциональным требованиям, а также массогабаритным и ресурсным ограничениям. Дадим формализованное описание модели.

Имеется N типов средств связи, которые могут быть использованы для создания бортового комплекса средств связи объекта. Каждое n -е средство ($n = 1, \dots, N$) описывается функциональными и ресурсными характеристиками.

К функциональным могут быть отнесены вероятностно-временные (P_n, T_n) и пространственные (D_n, H_n) характеристики n -го средства, содержание которых будет описано ниже.

К ресурсным относятся массогабаритные (M_n, V_n), энергетические (W_n); и стоимостные (C_n) характеристики n -го средства, где:

V_n — объем (с учетом конфигурации и размеров: длины, ширины, высоты);

M_n — масса;

W_n — потребляемая мощность;

C_n — стоимость разработки и изготовления.

Задача формирования состава бортового комплекса средств связи состоит в нахождении по меньшей мере одного набора средств

$$K = (n_1, n_2, \dots, n_i, \dots, n_k), \quad (1)$$

из числа N имеемых средств ($1 \leq i \leq N, 1 \leq n_i \leq N, 1 \leq k \leq N$), обеспечивающего достижение требуемых значений функциональных характеристик

(вероятностных ($P_{тр}$), временных ($T_{тр}$) и пространственных: дальности ($d_{тр}$) и глубины связи ($h_{тр}$):

$$P \geq P_{тр}, T \leq T_{тр}, d \geq d_{тр}, H \geq h_{тр} \geq h \geq 0, \quad (2)$$

(где H и h — предельная и текущая глубины погружения объекта) при выполнении ограничений к совокупным ресурсным характеристикам ($M_{max}, V_{max}, W_{max}, C_{зад}$) комплекса средств.

Ограничение по суммарному объему (размерениям) средств бортового комплекса состоит в выполнении условия:

$$\sum_{n=1}^k V_n \leq V_{доп}. \quad (3)$$

Условия выполнения ограничений по массе, потребляемой мощности и по стоимости комплекса имеют вид:

$$\begin{aligned} \sum_{n=1}^k M_n &\leq M_{доп}; & \sum_{n=1}^k W_n &\leq W_{доп}; \\ \sum_{n=1}^k C_n &\leq C_{зад}. \end{aligned} \quad (3.1)$$

При этом, если для использования n -го средства на h -й глубине потребуется дополнительное дооборудование РТК МБ, то это может быть учтено в общей стоимости n -го средства (C_n) добавлением к стоимости основной части средства стоимости дооборудования носителя для обеспечения связи на h -й глубине:

$$C_n = C_{on}^{(1)} + \sum_{h=1}^H C_{onh}^{(2)}, \quad (4)$$

где $C_{on}^{(1)}$ — стоимость основной части n -го средства (учитывающая, при необходимости, стоимость выполнения НИОКР и создания опытных образцов, стоимость изготовления серийного образца и стоимости его эксплуатации);

$C_{onh}^{(2)}$ — стоимость дооборудования объекта для использования (дополнительной части) средства для h -й глубины.

Решение данной задачи предполагает определение показателя эффективности. С этой целью подробнее рассмотрим структуру вышеназванных характеристик и установим взаимосвязь между ними с помощью математической модели функционирования комплекса, условно состоящей из двух связанных между собой логико-аналитических моделей: вероятностно-временной модели функционирования отдельных средств связи и пространственно-временной модели функционирования комплекса средств связи.

Вероятностно-временная модель функционирования средств связи

Функционирование n -го средства по приему сообщений заданной длины (объема) может осуществляться после приведения средства в готовность (техническую и оперативную, [4]) путем выполнения ряда подготовительных действий, например, посредством включения, проверки и приведения в готовность основных технических и программных элементов средства, развертывания и подключения антенных устройств, обеспечивающих его использования на заданной глубине, а также, возможно, выполнения ряда других подготовительных действий, к основным из которых можно отнести установление энергетического контакта передающих и приемных средств и синхронизацию процессов приема-передачи. Синхронизация может предшествовать проверке связи и, возможно, запросу пароля.

Введем соответствующие обозначения:

$t_{\text{гот}nh}$ — время необходимое для приведения n -го средства в готовность к использованию на h -й глубине;

$P_{\text{э}nh}$ — вероятность (наличия, установления) энергетического контакта n -го средства на h -й глубине с передающим береговым объектом за время не более t , задаваемая формулой:

$$P_{\text{э}nh}(t) = \begin{cases} 1, & \text{если } t \geq t_{\text{энерг}}^{\text{конт}}; \\ 0, & \text{если } t < t_{\text{энерг}}^{\text{конт}}. \end{cases} \quad (5)$$

где $t_{\text{энерг}}^{\text{конт}} = f(n, h)$ — время, необходимое для установления энергетического контакта n -м средством на h -й глубине; (здесь и ниже f — обозначение функциональной зависимости);

$P_{\text{пс}nh}(t)$ — вероятность проверки связи n -го средства на h -й глубине с передающим береговым объектом за время не более t , задаваемая формулой:

$$P_{\text{пров}nh}(t) = \begin{cases} 1, & \text{если } t \geq t_{\text{пров}}; \\ 0, & \text{если } t < t_{\text{пров}}. \end{cases} \quad (6)$$

где $t_{\text{пров}} = f(n, h)$ — время, необходимое для проверки связи n -м средством на h -й глубине;

$P_{\text{синхр}nh}$ — вероятность синхронизации процессов приема-передачи сообщения (между ПРД и ПРМ) n -го средства на h -й глубине за время не более t , определяемая по формуле:

$$P_{\text{синхр}nh}(t) = \begin{cases} 1, & \text{если } t \geq t_{\text{синхр}}; \\ 0, & \text{если } t < t_{\text{синхр}}. \end{cases} \quad (7)$$

где $t_{\text{синхр}} = f(n, h)$ — время, необходимое для синхронизации действий приемных и передающих средств в процессе приема-передачи сообщения n -м средством на h -й глубине.

В совокупности перечисленные действия определяют время, необходимое для установления связи:

$$t_{\text{устан}nh} = t_{\text{энерг}}^{\text{конт}} + t_{\text{пров}} + t_{\text{синх}}. \quad (8)$$

Если \bar{t}_{nh0} — момент наступления готовности n -го средства к началу приема, то момент времени завершения однократного приема сообщения будет равен

$$\bar{t}_{nh1} = \bar{t}_{nh0} + t_{\text{устан}nh} + t1_{nh} = \bar{t}_{nh0} + \Delta t1_{nh}, \quad (9)$$

где $t1_{nh}$ — время однократного приема сообщения заданной длины n -м средством на h -й глубине с заданной достоверностью;

$$\Delta t1_{nh} = t_{\text{устан}nh} + t1_{nh}$$

Введем также вероятностные характеристики этих временных величин:

$P1_{nh}$ — вероятность приема сообщения n -м средством за время $t1_{nh}$ на h -й глубине;

$\bar{P}0_{nh}$ — вероятность готовности n -го средства к приему сообщения на h -й глубине;

$\bar{P}1_{nh}$ — вероятность приема сообщения n -м средством за время \bar{t}_{nh1} .

(При этом величины $t1_{nh}$ и $P1_{nh}$, как известно, [5, 6], зависят, от таких характеристик как расстояние между передатчиком и приемником, мощность передатчика, чувствительность приемника, направленность антенны и состояние радиотрассы).

Связь между этими вероятностями имеет вид:

$$\bar{P}1_{nh} = \bar{P}0_{nh} \cdot P_{\text{устан}nh} + P1_{nh}. \quad (10)$$

Если n -е средство находится в состоянии готовности и в формулах (5) – (7) выполнены условия $t \geq t_{\text{энерг}}^{\text{конт}}$, $t \geq t_{\text{пров}}$, $t \geq t_{\text{синхр}}$, то $P_{\text{устан}nh} = 1$

и вероятность приема сообщения n -м средством за время $t1_{nh}$ на h -й глубине с учетом подготовительных действий в (10) составит: $\bar{P}1_{nh} = P_{\text{устан}nh} \cdot P1_{nh} = P1_{nh}$.

Вероятность приема (доведения) сообщения одним n -ым средством на глубине h за время не более t определим формулой:

$$P_{\text{дов}_{nh}}(t) \begin{cases} 1 - (1 - P_{1nh})^{m_{nh}}, & \text{если } t \geq t_{1nh}; \\ 0, & \text{если } t < t_{1nh}, \end{cases} \quad (11)$$

где количество (кратность) циклов приема за время t определяется как $m_{nh} = \text{целое}(t / t_{1nh})$.

За показатель возможностей n -го средства примем вероятность приема сообщения n -м средством хотя бы на одной глубине, определяемую формулой:

$$P_{\text{дов}_n}(t) = 1 - \prod_{h=1}^H (1 - P_{\text{дов}_{nh}}(t)), \quad (12)$$

где n -е средство на глубине h ($h = 1, \dots, H$) за время t выполняет m_{nh} циклов приема.

Для комплекса из N средств вероятность приема (доведения) на глубине h хотя бы одним средством определяется формулой:

$$P_{\text{дов}_h}(t) = 1 - \prod_{n=1}^N (1 - P_{\text{дов}_{nh}}(t)), \quad (13)$$

где каждое средство на глубине h ($h = 1, \dots, H$) за время t выполняет m_{nh} циклов приема.

(Отметим, что в (12) и (13), для простоты записи, $P_{\text{дов}_h}(t)$ и $P_{\text{дов}_n}(t)$ обозначают разные величины соответственно буквам индексов).

За показатель возможностей комплекса из N средств примем вероятность приема сообщения комплексом (доведения до комплекса) хотя бы одним средством хотя бы на одной глубине, определяемую формулой:

$$P_{\text{дов}}(t) = 1 - \prod_{h=1}^H (1 - P_{\text{дов}_h}(t)). \quad (14)$$

С другой стороны, очевидно:

$$P_{\text{дов}}(t) = 1 - \prod_{n=1}^N (1 - P_{\text{дов}_n}(t)).$$

Рассмотрим модель и формулы для определения показателей дальности связи комплекса из N средств.

При этом дальность d_{nh} приема сообщения n -м средством связи в условиях конкретного района на заданной h -й глубине зависит, [5, 6], от множества факторов x_1, \dots, x_g , влияющих на соотношение сигнал/помеха W_c/W_n в точке приема (при заданных чувствительности приемника, направленности антенны, скорости объекта и других заданных характеристиках):

$$d_{nh} = f(W_c/W_n, v_h, x_1, \dots, x_g), \quad (15)$$

Дальность приема сообщения n -м средством на h -й глубине в заданных условиях за один цикл приема (с одной передачи) обозначим через d_{1nh} .

Если не учитывать вероятностно-временных характеристик доведения (приема) сообщений и полагать, что дальность связи зависит только от глубины связи (и не зависит от количества передач), то $d_{1nh} \equiv d_{nh} = \text{const}$ для каждого средства для каждой глубины, то на глубине h предельная дальность связи будет определяться наибольшим значением дальности средств:

$$dh = d_{nh} = \max_n d_{1nh}, \quad (16)$$

где для каждой глубины $h = 1, \dots, H$ max берется по $n = 1, \dots, N$; n^* — номер средства, для которого выполнено (16).

Из (16) следует, что $d_{h_1} \geq d_{h_2}$ при $0 \leq h_1 \leq h_2 \leq H$.

Примерный характер влияния глубины приема на дальность связи показан на рис. 1.

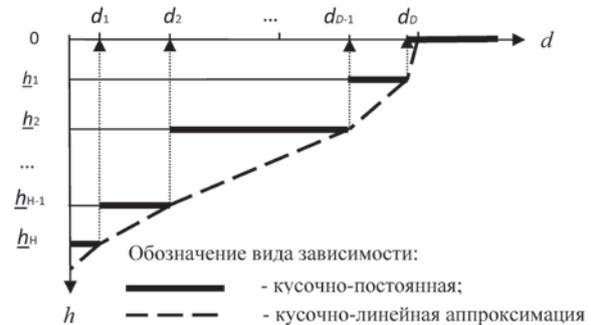


Рис. 1. Пример возможной зависимости дальности связи от глубины погружения платформы-носителя

Приведенные на рис. 1 ориентировочные (кусочно-постоянная и кусочно-линейная аппроксимация) зависимости являются монотонными и характеризуют предельно достижимые дальности связи («лучшими») средствами комплекса данного состава, но не учитывают возможности остальных средств комплекса, то есть не вполне отражают осуществимость (вероятность достижения) этих значений дальности.

Рассмотрим метод оценки дальности приема комплекса средств связи фиксированного состава с учетом вероятностно-временных характеристик средств, составляющих комплекс.

Метод оценки ожидаемых значений дальности связи

Для каждого значения h упорядочим средства по возрастанию дальности приема:

$$d_{n_1h} \leq \dots \leq d_{n_Nh}. \quad (17)$$

И примем, что для n -го средства и конкретного значения дальности d величина вероятности доведения $P_{\text{дов}_{nh}}(t)$ зависит от t и d следующим образом (для каждого n и h):

$$P_{\text{дов}_{nh}}(t, d) = \begin{cases} P_{\text{дов}_{nh}}(t), & \text{если } d_{(n-1),h} < d \leq d_{nh}; \\ 0, & \text{если } d_{n_1h} \leq d. \end{cases} \quad (18)$$

Аналогичный показатель для комплекса из N средств для конкретного значения d вероятность $P_{\text{дов}_h}(t)$ доведения на глубине h хотя бы одним средством из n имеемых в комплексе определим по формуле:

$$P_{\text{дов}_h}(t, d) = 1 - \prod_{n=1}^N (1 - P_{\text{дов}_{nh}}(t, d)) \quad (19)$$

при $d < d_{n=N,h}$ и $h = 1, \dots, H$.

При этом в $P_{\text{дов}_{nh}}(t, d)$ могут быть учтены перечисленные выше в (7), (8) характеристики готовности средств связи:

$$P_{\text{гот}_{nh}}(t) = P_{\text{разв АФУ}_{nh}}(\bar{t}_1) \times P_{\text{э}_{nh}}(\bar{t}_2) \cdot P_{\text{пров}_{nh}}(\bar{t}_3) \cdot P_{\text{синхр}_{nh}}(\bar{t}_4), \quad (20)$$

где $t = \bar{t}_1 + \bar{t}_2 + \bar{t}_3 + \bar{t}_4$.

Для частного случая, когда эти множители не зависят от t , т. е. являются постоянными коэффициентами, $P_{\text{гот}_{nh}}(t)$ также не зависит от t . (В противном случае можно использовать функцию «свертки» или допускать, что закон распределения вероятности позволяет суммировать математическое ожидание и дисперсию случайных величин от времени, [7, 8]. Если при этом надо учесть задержку времени, то можно строить модель с суперпозицией (наложением) временных величин, [8]).

Таким образом, вероятность приема сообщения комплексом на заданном удалении d на h -й глубине равна:

$$P_{\text{дов}_h}(t, d) = 1 - \prod_{n=1}^N (1 - P_{\text{дов}_{nh}}(t, d)). \quad (21)$$

Для $h_1 \leq h_2$ имеем $0 \leq P_{\text{дов}_{h_2}}(t) \leq P_{\text{дов}_{h_1}}(t) \leq 1$, что отражено на рис. 2.

Совокупность $\bar{P}(t, d) = \{P_{\text{дов}_{h=1}}(t, d), \dots, P_{\text{дов}_{h=H}}(t, d)\}$ характеризует возможности комплекса связи на различных глубинах для удаления d .

Предпочтительным из двух комплексов $K^{(1)} = (n_1^{(1)}, n_2^{(1)}, \dots, n_i^{(1)}, \dots, n_k^{(1)})$, $K^{(2)} = (n_1^{(2)}, n_2^{(2)}, \dots, n_i^{(2)}, \dots, n_k^{(2)})$, может считаться тот, у которого каждая компонента $P_{\text{дов}_h}(t, d)$ в (21) принимает большее значение:

$$\bar{P}^{(1)}(t, d) \geq \bar{P}^{(2)}(t, d) \text{ для всех } t \geq 0. \quad (22)$$

В качестве менее строгого признака предпочтительности комплекса можно принять превышения суммы его компонент $P_{\text{дов}_h}(t, d)$:

$$P^{(1)}(H) \geq P^{(2)}(H). \quad (23)$$

где

$$P^{(i)}(H) = \sum_h^H P_{\text{дов}_h}^{(i)}(t, d), \quad i = 1; 2.$$

При этом среди комплексов $K^{(i)}$, удовлетворяющих последнему признаку, лучшим можно считать тот $K^{(i^*)}$, у которого неравенство (23) выполнено для заданной части интервалов глубин $\Delta h = \{h_1, h_2, \dots\}$:

$$P^{(i^*)}(\Delta h) = \max_{1 \leq i \leq I} P^{(i)}(\Delta h), \quad (24)$$

где I — возможное количество комплексов.

Наконец, обобщающим показателем эффективности комплекса может служить итоговая вероятность приема сообщения комплексом на заданном удалении d хотя бы на одной глубине h):

$$P_{\text{дов}}(t, d) = 1 - \prod_{h=1}^H (1 - P_{\text{дов}_h}(t, d)). \quad (25)$$

На рис. 2 для фиксированной глубины погружения проиллюстрировано возможное уменьшение вероятности доведения с увеличением длины трасс связи, вследствие сокращения числа используемых при этом средств связи, а также приращение вероятности при увеличении времени связи.

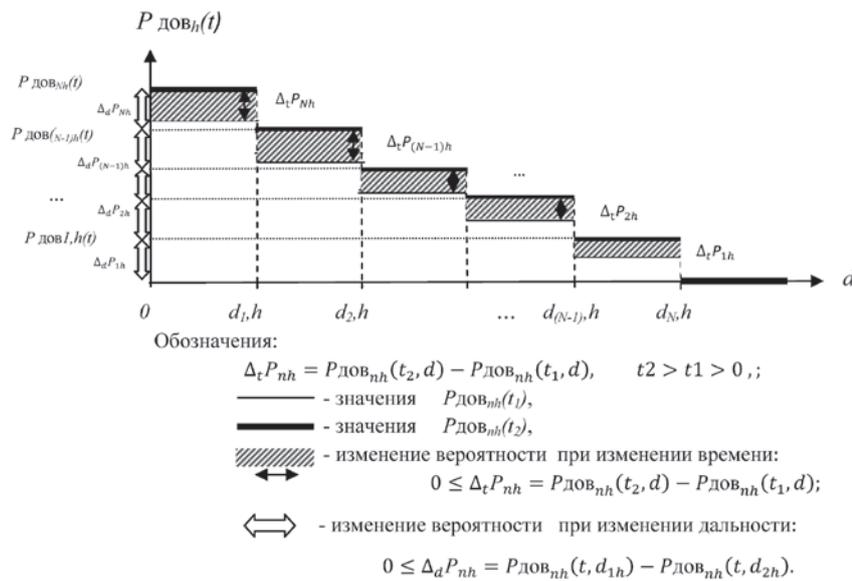


Рис. 2 — Пример возможной зависимости вероятности связи $P_{дов_h}(t)$ на заданной глубине (h) погружения платформы-носителя от длины трассы (дальности связи) (d)

Варианты конкретизации постановки задачи и метод ее решения

В зависимости от целей исследования возможны различные варианты постановки рассматриваемой задачи, в том числе:

А) по показателю вероятность доведения (приема) сообщения за время не более требуемого (заданного):

1) найти состав комплекса, обеспечивающего наибольшую вероятность доведения сообщения за время не более требуемого (заданного) в заданной географической точке акватории (на заданной глубине и заданной дальности);

2) найти состав комплекса, обеспечивающего наибольшую вероятность доведения сообщения за время не более требуемого (заданного) на глубине, не менее заданной, на заданную дальность;

3) найти состав комплекса, обеспечивающего наибольшую вероятность доведения сообщения за время не более требуемого (заданного) на дальность, не менее заданной, на заданной глубине;

Б) по показателю дальность приема (доведения) сообщения:

1) найти состав комплекса, обеспечивающего наибольшую дальность (расстояние) связи на заданной глубине, при удовлетворении требований к значениям ВВХ доведения сообщения и ресурсным характеристикам.

2) найти состав комплекса, обеспечивающего наибольшую глубину связи на заданном расстоянии, при удовлетворении требований к значениям ВВХ доведения сообщения и ресурсным характеристикам.

Общая схема решения задачи предполагает выполнение следующих операций:

1. Из имеющегося перечня средств (каналов) связи формируются возможные варианты состава комплекса.

2. Убираются из дальнейшего рассмотрения варианты, не удовлетворяющие требованиям по МГХ и электропитанию (при этом ограниченность количества вариантов упрощает процедуру выбора).

3. В зависимости от располагаемой исследователем информацией, в соответствии с принятой постановкой задачи выбирается (формируется) показатель эффективности и конкретизируются критерии выбора вариантов.

4. Например, выбираются варианты состава, обеспечивающие наибольшую (требуемую) дальность (или глубину) связи, или варианты состава, обеспечивающие наибольшую вероятность доведения сообщения для заданной (фиксированной) дальности.

Оценивается стоимость вариантов комплекса и в дальнейшем не рассматриваются

варианты, не удовлетворяющие требованиям по стоимости.

По вышеприведенным формулам оцениваются эффективность вариантов состава и выбираются варианты, удовлетворяющие требованиям использования по назначению в возможных условиях обстановки и ситуациях использования.

При этом, однако, возможны конкретные требования Заказчика по значениям исходных данных и некоторым ограничениям, при которых задача может иметь несколько решений или не иметь ни одного. В этом случае целесообраз-

но проведение повторных расчетов с итерационным уточнением значений исходных данных.

Выводы

Предложенный подход к моделированию процесса доведения сообщения является достаточно общим и может быть использован для широкой номенклатуры средств связи, а метод решения задачи доступен для практической реализации. В результате выполнения предложенных действий может быть найдено оптимальное или целесообразное решение задачи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Катанович А. А., Тамодин Н. В. Системы связи ВМФ. — СПб.: Судостроение, 2012, 256 с.
2. Агеев М. Д. Автономные подводные роботы. М.: Наука, 2005. — 398 с.
3. Николашин Ю. Л., Мирошников В. И., Будко П. А., Жуков Г. А. Обеспечение устойчивого обмена данными с автономными необитаемыми подводными аппаратами. //Морская радиоэлектроника. 2016, № 1. — С. 44–49.
4. ГОСТ 27.002–89 Надежность в технике. Основ-

ные понятия. Термины и определения.

5. Черенкова Е. Л., Чернышев О. В. Распространение радиоволн. — М.: Радио и связь, 1984. — 272 с.
6. Сомов А. М. Распространение радиоволн / А. М. Сомов, В. В. Старостин. — М.: Гелиос АРВ, 2010. — 264 с.
7. Вентцель Е. С. Исследование операций. М., Советское радио, 1972, — 552 с.
8. Абзгауз Г. Г. и др. Справочник по вероятностным расчетам. М., Воениздат, 1970.

В. И. Мирошников

доктор технических наук, профессор, генеральный конструктор

А. А. Миронов, кандидат технических наук, доцент

ПАО «Информационные телекоммуникационные технологии»

ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ И ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ БЕСПРОВОДНОЙ МУЛЬТИМЕДИЙНОЙ СЕТИ КОРПОРАТИВНЫХ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ

Представлен комплексный подход к обеспечению информационной безопасности, в части основных проблем, задач и механизмов криптозащиты в сетях беспроводной связи, построенных по принципам ячеистой технологии и характеризующимися высокой отказоустойчивостью.

Мультимедийные беспроводные сети связи, организованные по топологии ячеистой структуры, в настоящее время пользуются большим вниманием разработчиков и корпоративных пользователей.

Такое внимание обуславливается возможностями сетей обеспечить:

- устойчивость к потере ее отдельных элементов (узловых станций и точек доступа).
- большую площадь информационного покрытия;
- возможность оперативного изменения площади зоны покрытия и площади информационного обеспечения;

К числу основных особенностей, вызывающих необходимость включения функций обеспечения информационной безопасности в число обязательных требований к сети, относятся:

а) совместное использование многими пользователями территориально-разнесенных ресурсов сети, соединенных радиоканалами, увеличивает риск доступа к сети не декларированных пользователей;

б) объединение различных подсистем в единую сеть, а также комбинации различных программно-аппаратных средств увеличивают ее уязвимость и тем самым повышаются риски в обеспечении информационной защиты;

в) возможность изменения структуры сети, путем подключения новых станций и абонентов,

а также получение доступа, через транспортную сеть кластерного взаимодействия в сеть общего доступа, расширяет границы сети, увеличивая количество возможностей точек атак и вероятность реализации угроз безопасности.

В данной работе под информационной безопасностью будем понимать состояние защищенности обрабатываемых, хранимых и передаваемых по сети беспроводного доступа данных от незаконного ознакомления, преобразования и уничтожения, а также состояние защищенности информационных ресурсов компонентов сети от воздействий, направленных на нарушение их работоспособности.

Организационные и технические решения, в части информационной безопасности сети, должны обеспечивать защиту от:

— нарушения функционирования сети путем воздействия на ее информационные каналы, каналы управления и сигнализации, каналы дистанционной загрузки баз данных коммуникационного оборудования, системное и прикладное программное обеспечение;

— несанкционированного доступа к информационным ресурсам и от попыток использования ресурсов сети, приводящих к утечке данных, нарушению целостности сети и информации, изменению функционирования распределения потоков данных, изменения правил доступа к базам данных;

- разрушения встраиваемых и внешних средств защиты;

- неправомерного действия пользователей и обслуживающего персонала сети.

Для защиты от перечисленных нарушений в корпоративных сетях беспроводного доступа необходимо:

- защитить содержание и модификацию информации при ее обработке и передаче по сети;

- подтвердить подлинность объектов данных и пользователей (аутентификация сторон, устанавливающих обмен);

- обнаружить и предупредить нарушение целостности объектов данных;

- защитить конфиденциальную информацию от утечки и от внедренных электронных закладок;

- защитить программные продукты станций сети от внедрения вирусов;

- защитить от доступа недеklarированных пользователей к информационным ресурсам и техническим средствам сети.

Система обеспечения информационной безопасности беспроводной сети должна предоставлять пользователям следующие услуги безопасности:

- обеспечение конфиденциальности информации;

- обеспечение целостности информации;

- обеспечение достоверности информации;

- обеспечение оперативности доступа к информации;

- обеспечение юридической значимости информации, представленной в виде электронного документа.

Основу обеспечения информационной безопасности составляют криптографические методы и средства защиты информации.

Криптографические механизмы в сетях беспроводного доступа должны обеспечивать:

- шифрование отдельных сообщений и информационного трафика, передающихся по радиоканалам сети;

- криптографическую аутентификацию устанавливающих связь разно-уровневых объектов сети (узловых точек кластера и точек доступа);

- имитозащиту трафика, несущего данные (защита от имитации истинных данных трафика);

- цифровую подпись, с целью обеспечения целостности и достоверности передаваемой информации;

- шифрование передаваемых данных, либо хранящихся в базе данных распределенной сети;

- контроль целостности программного обеспечения путем применения криптографически стойких контрольных сумм.

Для реализации указанных механизмов необходим обмен между комплексами технических средств узловых точек и точек доступа кластеров сети с использованием криптографических протоколов:

- протоколов обмена ключевой информацией для установления криптосвязности шифраторов сети;

- протоколов аутентификации объектов и субъектов сети, устанавливающих двухсторонний обмен;

- протоколов авторизации пользователей при доступе к телекоммуникационным и информационным службам сети.

Указанные протоколы позволяют обеспечить:

- обмен ключевой информацией с последующим установлением защищенного обмена между объектами сети;

- аутентификацию сторон, устанавливающих связь (объекты и субъекты сети);

- авторизацию пользователей при доступе к телекоммуникационным и информационным службам.

Для реализации перечисленных общих требований в сети должна быть создана комплексная система обеспечения информационной безопасности.

Указанная система должна обеспечивать выполнение следующих основных требований:

- криптографическую защиту информации, передаваемой по радиоканалам сетевого взаимодействия, абонентских терминалов, базовых станций кластеров и комплексов технических средств точек доступа;

- защиту от нарушения целостности и подлинности сообщений (информации), обрабатываемых на рабочих местах пользователей (абонентских терминалах), а также информации, передаваемой по всем радиоканалам сети;

- обеспечение аутентификации декларированных пользователей и технических средств сети, участвующих в реализации сетевых про-

токолов обеспечения информационной безопасности;

- защиту информационных ресурсов сети от несанкционированного доступа, переходных электромагнитных излучений и наводок (ПЭМИН), а также компьютерных вирусов;

- обеспечение контроля доступа к информационным ресурсам сети;

- обеспечение защиты и сохранности информации при возникновении неисправностей в технических средствах, осуществляющих обработку, хранение, прием и передачу информации, а также в аппаратно-программных технических средствах криптозащиты;

- обеспечение криптоживучести ключевых структур информационного обмена в сети в условиях возможного отключения отдельных элементов сети и компрометации ключевых документов.

Реализация перечисленных требований должна обеспечивать защиту информационных ресурсов сети на основе разработанных технических решений, использующих современные перспективные средства шифрования, аппаратно-программные средства защиты от НСД, активные и пассивные технические средства защиты от технических средств промышленного шпионажа.

Указанные меры и средства должны включать:

- аппаратно-программные средства линейного (либо предварительного) шифрования и имитозащиты;

- криптомаршрутизаторы и криптошлюзы;

- средства (протоколы) аутентификации технических комплексов, абонентских терминалов и пользователей;

- средства (алгоритмы, протоколы) формирования и проверки электронной цифровой подписи;

- средства (протоколы, алгоритмы) администрирования, контроля и аудита;

- средства децентрализованного формирования, защищенного распределения и ввода ключевых данных.

Перечисленные средства (алгоритмы, протоколы) защиты должны функционально входить в состав технических комплексов станций межкластерного взаимодействия и станций доступа.

Объектами, подлежащими криптографической защите в сети, являются:

- информация, хранимая в базах данных КТС объектов сети и на рабочих местах корпоративных пользователей;

- информация, передаваемая по радиоканалам взаимодействующих объектов (станций сети), каналам привязки кластеров к транспортной сети;

- информация с различных носителей, которой обмениваются декларированные пользователи.

Технические решения по криптозащите должны строиться с учетом особенностей топологии сети, а также с особенностями криптографических протоколов взаимодействующих объектов сети (абонентские терминалы, абонентские точки доступа, узловые точки доступа, точки привязки кластеров к транспортной сети ведомства).

Для реализации указанных требований шифраторы сети должны иметь режимы работы как предварительного, так и линейного шифрования.

Предварительное шифрование предполагает разнесение по времени процедуры шифрования и передачи шифрованного сообщения в радиоканал.

В режиме линейного шифрования информации ее передача или прием и расшифрование совмещены по времени и синхронизированы по тактам.

Шифратор в абонентском терминале сети, работающий в пакетном режиме, шифрует информационную часть пакета, который после присоединения открытых служебных реквизитов передается в радиосредства.

Главный недостаток такой работы заключается в том, что не обеспечивается скрытость трафика и интенсивности обмена корпоративных пользователей.

Режим линейного шифрования целесообразно использовать для шифрования информации, передаваемой в сети межкластерных соединений и между станциями доступа кластеров.

В этом режиме шифруется информационная и служебная части пакетов, что обеспечивает:

- криптозащиту как информационной, так и служебной части сообщения;

- скрытость трафика обмена информацией между кластерами, что повышает разведзащищенность сети;

- защиту от угроз по дезорганизации работы автоматизированных комплексов технических

средств обработки информации объекта сети и, тем самым, повышает ее эффективность.

Для каждого типа абонентского терминала, станций сети, станций точек доступа, должна быть разработана совокупность мер (услуг) безопасности и механизмов, их реализующих, с учетом выполняемых функций и требований сети.

На каждом коммуникационном узле необходимо обеспечить:

- контроль доступа к файлам и данным, доступным из канальных сетей пользователей и других коммуникационных сетей;
- контроль процессов, инициализированных с удаленных составных частей сети;
- контроль сетевого трафика;
- идентификация и аутентификация объектов и субъектов сети;
- контроль доступа к ресурсам сети, доступным для использования пользователями сети;
- контроль за распределением сетевых ресурсов и связанных с ними ресурсами других сетей.

Поскольку беспроводная сеть представляет собой совокупность функциональных подсистем, обменивающимися между собой информацией с использованием протоколов всех уровней, то для обеспечения безопасности необходима реализация защиты протоколов.

Функции защиты протоколов каждого уровня должны быть реализованы с учетом назначения протокола и требований к степени защиты информации.

Физический уровень, обеспечивающий электрические, функциональные и процедурные средства установления, поддержания и разъединения физического соединения, должны быть защищены применением организационных и инженерно-технических решений с использованием механизма шифрования.

Протоколы канального уровня, служащие связующим звеном между каналом связи, «вносящим ошибки», и протоколом более высоких уровней, обеспечивающих безошибочную передачу данных, также должны быть защищены применением механизма шифрования.

Для обеспечения безопасности на сетевом уровне необходимо идентификация услуг сервиса безопасности (аутентификация, контроль доступа, конфиденциальность потока, целостность и сохранность данных).

В рамках протоколов транспортного уровня безопасность, кроме того, должна обеспечиваться применением механизма криптозащиты (включая имитозащиту) и целостность данных.

В протоколах прикладного уровня должен быть реализован механизм контроля доступа, идентификации и аутентификации, отдельных пользователей и процессов, а также механизмы, обеспечивающие выполнение требований к системе в защищенном исполнении.

Сетевые механизмы безопасности в корпоративных сетях, использующие криптографические процедуры

Конфиденциальность хранимой, обрабатываемой и передаваемой (принимаемой) информации, целостность и доступность компонентов сети должна обеспечиваться реализацией следующих сетевых механизмов безопасности, использующих криптографические процедуры:

- механизмы цифровой подписи;
- механизмы обеспечения целостности информации;
- механизмы аутентификации объектов сети;
- механизмы подстановки трафика;
- механизмы управления маршрутизацией;
- механизмы арбитража и освидетельствования;

Механизмы цифровой подписи необходим для реализации задач аутентификации и защиты от отказа отправителя посланной им информации. Эти механизмы основываются на алгоритмах асимметричного шифрования, включающих две процедуры: формирование подписи отправителя и ее опознание получателем.

Первая процедура обеспечивает зашифрованный блок данных криптографической контрольной суммой (ХЭШ-код $H(M)$ фиксированного размера). Вторая процедура основывается на использовании секретного ключа, знание которого достаточно для опознания отправителя.

Цифровую подпись корпоративных пользователей целесообразно реализовать в рамках протоколов прикладного уровня на абонентских терминалах, использующих информационные ресурсы сети.

Механизмы контроля должны обеспечить проверку полномочий взаимодействующих объектов сети на доступ к ее ресурсам.

Проверка полномочий производится в соответствии с разработанной и утвержденной заказчиком корпоративной сети политикой безопасности и реализующих ее механизмов. Указанные механизмы, в соответствии с установленной политикой безопасности, могут быть реализованы на сетевом, транспортном и прикладном уровне.

Механизм обеспечения целостности заключается во взаимосвязанном выполнении процедуры шифрования и дешифрования получателем. Одной из процедур обеспечения механизма целостности, которую целесообразно реализовать в корпоративной сети, является дополнение передаваемого блока криптографической суммой (имитоставкой).

Получатель при дешифровании сравнивает ее с криптографическим значением, соответствующим принятому блоку. Несовпадение свидетельствует об искажении информации, связанной с возможной попыткой модифицировать исходное сообщение или навязать ложное (имитировать истинное) сообщение.

Механизмы аутентификации должны использоваться для проверки подлинности объектов сети, участвующих в зашифрованном обмене.

Механизмы аутентификации должны быть совмещены с шифрованием, цифровой подписью и арбитражем.

Необходимость реализации механизма защиты от подстановки трафика обуславливается целесообразностью исключения возможности получения информации об интенсивности обмена в сети и обслуживаемых абонентов посредством наблюдения за внешними характеристиками потоков, циркулирующими в каналах беспроводной связи.

Реализация механизма управления маршрутизацией обеспечивает выбор маршрутов передачи информации по сети, обеспечивающих минимизацию времени пребывания сообщений в сети и исключают возможность передачи защищаемых сведений по незащищенным каналам беспроводного доступа.

Механизм арбитража обеспечивает подтверждение характеристик данных, передаваемых между объектами и субъектами сети. Для этого вся информация, отправляемая или получаемая объектом, проходит через «арбитра», что позволяет при возникновении разногласий подтвердить упомянутые характеристики.

Общие системно-технические требования по обеспечению криптозащиты в корпоративных сетях

Криптозащита в сетях должна строиться на принципах, обеспечивающих реализацию следующих функций:

- шифрование данных с заданной стойкостью;
- защиту от имитаций истинных сообщений;
- криптозащиту (по возможности) абонентским способом с использованием предварительного и линейного шифрования.

Ключевая система аппаратно-программных средств криптозащиты (шифраторов) сети должна обеспечивать:

- криптосвязность на перспективных отечественных алгоритмах шифрования с возможностью их использования в данных сетях, предназначенных для передачи информации с грифом в соответствии с требованием пользователей;
- криптосвязность (по мере необходимости) с шифраторами действующей и перспективной систем связи.

Криптомодули абонентских терминалов, станций доступа и других объектов сети должны обеспечивать:

- автоматизированный (автоматический) ввод шифрключей;
- автоматическую проверку правильности ввода шифрключей;
- работу без повторного ввода ключей после перерывов связи в каналах и сетях электропитания;
- анализ неснятия шифра и автоматический перезапуск программы шифрования криптомодуля;
- автоматическое вхождение в связь в режимах работы сети с установлением соединения и без установления соединения;
- дистанционный закрытый ввод рабочих шифрключей как по соединительным линиям, так и по действующим каналам радиосвязи.

Основными функциональными устройствами сети являются программно-аппаратные комплексы защиты информации, встраиваемые в абонентские терминалы, комплексы радиосредств доступа, шлюзы и другие технические средства сети, использующие механизм шифрования.

Следует отметить, что в соответствии с методологией, принятой в современной криптографии, стойкость любой криптосистемы определяется только степенью безопасности используемых в ней ключей, так как множество алгоритмов шифрования, его механизмы и реализация рано или поздно станут известными злоумышленнику. Поэтому цель хорошей криптографической конструкции — свести более сложные проблемы к надлежащему управлению и безопасному хранению ключей, безопасность которых и доверие к ним пользователей достигается путем их физической изоляции, технических и организационных мер защиты.

Кроме того, должна быть предусмотрена смена ключей как с рабочего места администратора сети, так и путем передачи ключевой информации по каналам сети.

Краткая характеристика стандартов шифрования

В настоящее время существует множество алгоритмов шифрования (алгоритмы с симметричными ключами и алгоритмы с открытым распределением ключей), которые используются в защищенных сетях различного назначения. Наиболее известный алгоритм DES (Data Encryption Standard), который международная организация по стандартизации ISO называет DEA-1 (Data Encryption Algorithm). Указанный алгоритм превратился во всемирный стандарт, и имеет множество модификаций DESX, CRYPT, RDES, LUCIFER, FEAL и др.

Алгоритм DES представляет собой блочный шифр, предназначенный для шифрования данных 64-битовыми блоками. Относится к симметричным алгоритмам, т. е. для шифрования и расшифрования используются одинаковые алгоритмы и ключи. Конфиденциальность данных определяется ключом. Длина ключа 56 бит. При современных методах криптоанализа и скоростях обработки информации такая длина ключа может быть недостаточной для сетей, к которым предъявляются высокие требования по криптозащите.

Для криптографической защиты информации в сетях беспроводного доступа спецификации 802.11 и ее модификаций используется криптоалгоритм WEP (Wired Equivalent Privacy). WEP работает на втором уровне модели OSI и, до недавнего времени, использовался как основное средство защиты беспроводного канала свя-

зи для шифрования трафика между точкой доступа и компьютером пользователя.

Шифрование осуществляется с использованием алгоритма RC4 на ключе со статической составляющей от 40 до 104 бит и с дополнительной случайной динамической составляющей (вектором инициализации) размером 24 бит.

Динамическая часть ключа 24 бит меняется в процессе работы сети. Таким образом, в результате шифрование осуществляется ключом с разрядностью от 64 до 128 бит.

Процесс шифрования WEP выполняется в два этапа:

- на первом этапе подсчитывается контрольная сумма (Integrity Checksum Value -- ICV) с применением алгоритма Cyclic Redundancy Check (CRC-32), добавляемая в конец незашифрованного сообщения и служащая для проверки принимаемой стороной его целостности;
- на втором этапе осуществляется непосредственно шифрование.

Ключ WEP шифрования — общий секретный ключ, который должны быть введены на обеих сторонах беспроводного канала передачи данных. Секретный 40-битный ключ вместе со случайным 24-битным является входной последовательностью для генератора псевдослучайных чисел.

Основной уязвимостью протокола WEP является то, что вектора инициализации повторяются через некоторый промежуток времени, и взломщику потребуется лишь собрать эти повторы и вычислить по ним статическую часть ключа.

Проблемы алгоритма WEP носят комплексный характер и кроются в целой серии слабых мест:

- механизме обмена ключами;
- малых разрядностях ключа и вектора инициализации (Initialization Vector — IV);
- механизме проверки целостности передаваемых данных;
- способе аутентификации и алгоритме шифрования RC4.

Существует несколько процедур, при помощи которых возможно улучшить безопасность беспроводной сети:

- использование длинных WEP ключей, если оборудование поддерживает 128-битное шифрование;
- периодическая смена ключей;
- использование VPN для всех протоколов, которые могут передавать важную информацию.

В 2003 году появился новый стандарт безопасности WPA (Wi-Fi Protected Access — защищенный доступ к Wi-Fi). Он был создан в качестве замены WEP и реализует большую часть стандарта IEEE 802.11i.

В данном стандарте реализована динамическая генерация ключей шифрования, в основу которой положен протокол TKIP (Temporal Key Integrity Protocol).

Каждый пакет в сети имеет свой собственный уникальный ключ, и кроме того, каждое устройство в сети наделяется ключом, изменяющимся через определенные промежутки времени.

Шифрование пакета осуществляется следующим образом:

генерируется случайное число IV (Initialization Vector — вектор инициализации) и WEP — ключ (основой для него служит masterkey), затем они складываются, и полученным ключом шифрования шифруется пакет данных.

Подобный подход предусматривает большое количество вариантов ключей, что обеспечивает высокую степень защиты от вскрытия информации.

Второй полезной функцией WPA является возможность аутентификации пользователя при входе в сеть. Для доступа пользователь обязан ввести логин и пароль, которые будут сверяться с учетными записями сервера аутентификации.

Существуют аппаратная и программная реализация WPA. Большинство программных реализаций WPA формируют ключ на основании пароля пользователя и сетевого номера машины, что естественно ведет к понижению уровня защищенности сети.

Примечание: В устройствах стандарта 802.11g, поддерживается алгоритм шифрования WPA. WPA включает в себя 802.1x, TKIP (Terminal Key Integrity Protocol) — протокол реализации динамических ключей шифрования и MIC (Message Integrity Check) — протокол проверки целостности пакетов.

В РФ установлен единый открытый стандарт криптографического преобразования данных для систем передачи информации в сетях связи, включая сети беспроводной связи, который определяется ГОСТ 28147–89. Этот стандарт предназначен для программной и аппаратной реализации, удовлетворяет криптографическим требованиям и не накладывает ограничений на степень секретности защищаемой информации, т. е. он может быть использован в реализации различных криптографических протоколов.

Алгоритм шифрования данных представляет собой 64-битовый блочный алгоритм с 256-битовым ключом.

Алгоритм предусматривает 4 режима работы:

- шифрование данных в режиме простой замены;
- шифрование данных в режиме гаммирования;
- шифрование данных в режиме гаммирования с обратной связью;
- выработка имитоприставки.

В режиме простой замены открытые данные, подлежащие шифрованию, разбиваются на 64-разрядные блоки и вводятся в накопители N_1 , N_2 , после 32 циклов преобразования (подстановки, циклического сдвига сложением по mod 32). Заполненные накопители являются блоком зашифрованных данных ТШ, соответствующим блоку открытых данных.

В режиме гаммирования с обратной связью каждый блок шифрованных данных одновременно является исходным состоянием второго блока гаммы шифра.

Если длина последнего m -го блока открытых данных меньше 64 разрядов, то из ТШ (m) используют только соответствующее число разрядов гаммы шифра, остальные разряды отбрасываются.

В канал связи в этом режиме передается синхросылка и блоки шифрованных данных ТШ (1), ТШ (2), .. ТШ (m).

Имитовставка — это блок из P бит, который вырабатывается по определенному правилу из открытых данных с использованием ключа и затем добавляются к зашифрованным данным для обеспечения их защиты.

В стандарте ГОСТ 28147–89 процесс выработки имитовставки единообразен для любого из режимов шифрования данных.

Имитовставка Ир вырабатывается с использованием открытых данных перед шифрованием всего сообщения, либо параллельно с шифрованием по блокам.

Значение параметра p — число двоичных разрядов в имитовставке определяется криптографическими требованиями, с учетом того, что вероятность навязывания имитации истинного сообщения должна быть не более 2^{-p} .

В режиме простой замены искажение блока зашифрованного текста в канале связи при расшифровании приводит к изменениям соответствующего блока открытого текста.

В режиме гаммирования все изменения открытого текста приводят к изменениям в расшифровках сообщений.

В режиме гаммирования с обратной связью искажение блока шифртекста после расшифрования приводит к ошибке двух блоков открытого текста, при этом один из них оказывается исполненным предсказуемым образом, другой непредсказуемым.

Непредсказуемые (необнаруженные) изменения в расшифрованном массиве данные могут быть обнаружены лишь в случае введения избыточности в эти данные (кодирование данных).

Для обнаружения случайных или умышленных искажений информационной последовательности требуется режим работы с имитозащитной приставкой.

В основу системы с открытым распределением ключей (ОРК) заложено понятие односторонней функции, — эффективно вычисляемая функция, для обращения которой (т. е. для поиска хотя бы одного значения аргумента по заданному значению функции) не существует эффективных алгоритмов.

Две связывающиеся стороны, не обладая распределенной ранее секретной информацией, получают общий секретный ключ с помощью использования односторонних функций, стойкость которых основывается, в частности, на сложности взятия дискретного логарифма. В общем виде каждая из сторон генерирует свое случайное число, преобразуют его посредством некоторой несекретной процедуры, обмениваются преобразованными числами по каналу связи друг с другом, затем вычисляют общий секретный ключ на основе информации, полученной по каналу связи от противоположной стороны и своего случайного числа. Такая схема обмена ключами известна под названием «алгоритм Диффи-Хеллмана» и имеет большое количество вариантов реализации.

В ходе установления связи вырабатываются сеансовые ключи с использованием протокола ОРК. Окончательное подтверждение аутентификации абонента происходит при совпадении контрольных комбинаций, которыми обмениваются шифраторы. Контрольные комбинации вырабатываются на сеансовых ключах в каждом сеансе связи.

При организации каждого нового защищенного соединения стороны обмениваются другими случайными числами, используемыми в качестве

входной информации для криптографических функций. Эти необходимо для повышения эффективности алгоритмов Диффи-Хеллмана, а также для защиты от атак с повторным использованием переданных ранее пакетов.

Поскольку расчет ключей по алгоритму Диффи-Хеллмана требует значительных вычислительных ресурсов, то для сокращения времени вхождения в связь и организации множества соединений конечные точки сети могут повторно использовать рассчитанные ранее экспоненты (производные от случайных чисел). Существует несколько вариантов обоснованной стратегии многократного использования экспонент. Конечная точка сети может рассчитывать новый экспонент периодически, без учета интенсивности использования текущего экспонента, хотя это может приводить к снижению уровня защиты. Другим вариантом является сохранение информации об использованных для каждого соединения экспонент и удаление связанной с экспонентом информации только после закрытия соответствующего соединения. Это позволяет использовать экспоненты многократно без снижения уровня защиты, но за счет поддержки дополнительной информации.

В беспроводных сетях для защиты содержания сообщений (данных) целесообразно использовать симметричную криптографию. Она на несколько порядков быстрее и устойчивее к вскрытию с использованием подобранного шифртекста.

Криптография с открытым ключом более эффективна при решении задач по распределению ключей и управление криптографическими протоколами.

В таблице 1 представлены классы алгоритмов и их свойства, в части реализации ими функции безопасности.

Канальное и абонентское шифрование

Как отмечалось ранее, шифрование в беспроводной сети возможно на любом уровне модели OSI (Open Systems Interconnect).

В практических реализациях беспроводных сетей данные шифруют либо на самых нижних уровнях (физическом или канальном), либо на высших уровнях. Если данные шифруют на низших уровнях, процесс называется канальным шифрованием (link-by-link); шифруют все, что следует по каналу передачи. Если данные шифруются на верхних уровнях, процесс называют окончательным (или абонентским) шифрованием

Таблица 1

Классы алгоритмов

Алгоритм	Конфиденциальность	Аутентификация	Целостность	Управление ключами
Алгоритм симметричного шифрования	Обеспечивается	Не обеспечивается	Обеспечивается	Обеспечивается
Алгоритм шифрования с открытым ключом	Обеспечивается	Обеспечивается	Не обеспечивается	Обеспечивается

(end-to-end); данные шифруются избирательно и остаются в зашифрованном виде вплоть до расшифрования конечным получателем.

Реализация канального шифрования проще, поскольку интерфейсы физического уровня стандартизованы, и подключить аппаратно-программный шифратор в этом случае несложно.

Канальный шифратор шифрует все проходящие через него данные, а также маршрутную и протокольную информацию. Его можно использовать в цифровых радиоканалах сети для обеспечения защищенного обмена между кластерами сети. Такой вариант использования канального шифратора обеспечит безопасность трафика, поскольку нарушитель не только не получает доступа к информации, но не может узнать наличие и интенсивность обмена между кластерами.

Кроме того, упрощается процесс распределения ключей: общий ключ нужен только на двух конечных точках и они могут поменять этот ключ независимо от всей остальной сети.

Для обеспечения криптосвязности канальных шифраторов в кластерах сети используются различные ключевые структуры, обеспечивающие требуемую устойчивость связи при компрометации ключевых документов.

При абонентском шифровании данные остаются зашифрованными до поступления в место назначения.

Основной недостаток абонентского (оконечного) шифрования заключается в том, что маршрутная информация остается незашифрованной.

В этом случае нарушитель получает возможность анализировать трафик сети (откуда поступают данные на передачу, кому поступают, какова их длина, с какими внешними событиями они связаны).

В беспроводных корпоративных сетях целесообразно использовать объединение обоих методов: канальное шифрование делает невозможным любой анализ маршрутной документации, в то время как абонентское шифрование

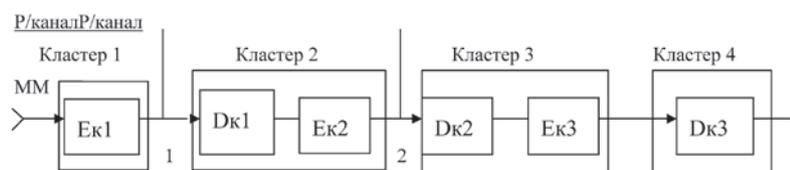


Рис. 1 Схема канального шифрования

Рис. 1. Схема канального шифрования

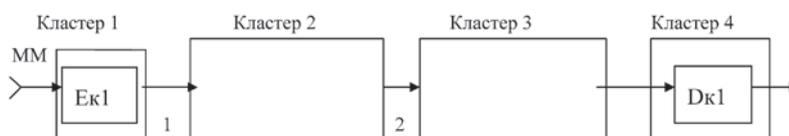


Рис. 2 Схема абонентского шифрования:

Ек — процедура шифрования; Дк — процедура дешифрования

снижает угрозу, которая влечет появление незашифрованных данных в различных узлах сети.

Выводы:

1. Защита в корпоративных сетях беспроводной связи должна планироваться и строиться как единый комплекс мер защиты, охватывающий процесс обработки информации на всех уровнях, а разработка политики безопасности,

ее реализация и управление должны подчиняться общей концепции безопасности.

2. Существует множество возможных методов реализации механизмов безопасности в сети, использующих криптографические процедуры. При выборе того или другого варианта каждого из механизмов безопасности необходимо учитывать возможности самого слабого звена системы защиты.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Б. Шнаер.** Прикладная криптография. Протоколы, алгоритмы, исходные тексты на языке Си. — М.: издательство ТИУМФ, 2003. 816 с.

2. ГОСТ — 28147—89. Системы обработки информации. Защита криптографическая. Алгоритм криптографического преобразования.

3. **О. А. Лапонина.** Основы сетевой безопасности.

Криптографические алгоритмы и протоколы взаимодействия. — М.: Интернет — Университет информационных технологий; Бином. Лаборатория знаний. 2013. — 531с.

4. **М. С. Немировский, О. А. Шорин, А. И. Бабин, А. Л. Сартоков.** Беспроводные технологии от последней мили до последнего дюйма. — М.: Эко-Трендз, 2010. — 400 с.

И. А. Кулешов

первый заместитель генерального директора по научной работе, кандидат военных наук, доцент

С. А. Солозобов

начальник НИО, кандидат технических наук, доцент

В. В. Шевченко

начальник лаборатории, кандидат военных наук, доцент

ПАО «Информационные телекоммуникационные технологии»

ПРОБЛЕМЫ РАДИОСВЯЗИ В АРКТИКЕ

АННОТАЦИЯ. В статье показаны существующие проблемы организации радиосвязи в Арктической зоне. Проведен анализ тропосферной радиорелейной линии связи «Горизонт-М». Представлены предложения по применению тропосферных и радиорелейных станций связи в Арктике. Рассмотрены возможности организации радиосвязи в КВ, СВ и ДВ диапазонах волн. Даны рекомендации по использованию существующих и разрабатываемых радиосредств. Сделан анализ и представлены предложения о применении спутников связи в высокоширотных районах Арктической зоны на геостационарной и высокоэллиптической орбите. Разработана интегрированная сеть радиосвязи для Арктической зоны.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Арктика, тропосферная связь, спутниковая связь, радиосвязь на средних и коротких волнах, интегрированная сеть радиосвязи.

Введение

Россия всегда была заинтересована в развитии Арктики. С 30-х годов XX века началось интенсивное освоение Арктической зоны. С 90-х годов прошлого века и до настоящего времени освоение Арктики осуществляется вахтовым методом.

Арктическая зона России в целом представляет собой колоссальный сырьевой резерв и относится к числу немногих регионов мира, где имеются практически нетронутые запасы нефти, газа и минерального сырья. На относительно небольших территориях здесь сосредоточены крупнейшие месторождения полезных ископаемых.

Желающих пребывать в регионе становится все больше. На Арктику претендуют Россия, США, Канада, Норвегия, Швеция, Финляндия, Дания и даже не имеющие прямого выхода в Северный Ледовитый океан — Китай и Южная Корея. Прилегающие к России Арктические территории требуют защиты. Надежное управление объектами и структурами требует современной постоянно действующей связи.

Факторы, влияющие на организацию радиосвязи

На создание системы связи и организацию связи в Арктике влияют следующие факторы:

1. Значительные водные просторы, ледовые территории и тундра.

В акватории Арктики не много островов, которые находятся на больших расстояниях между собой и материковой частью.

2. Суровые климатические условия. Температура воздуха опускается до минус 55° – 60° . Близки к 0° средние температуры летних месяцев. Для Арктики характерны полярные дни и ночи.

3. Отсутствие сети транспортных дорог в тундре. Сообщения между населенными пунктами возможны водным транспортом во время короткой навигации с мая по сентябрь или авиацией.

4. В Арктической зоне часто возникают полярные сияния, так называемые «полярные шапки». Магнитные и ионосферные бури отрицательно влияют на распространение коротких радиоволн.

Эти факторы необходимо учитывать при строительстве систем связи.

Связь в Арктике не очень надежная. Прокладка кабельных и волоконно-оптических линий сопряжена с большими трудностями. Радиосвязь на коротких волнах в высокоширотной зоне характеризуется высокой не стабильностью. Во многих случаях такая связь практически невозможна. Нестабильность обусловлена воздействием «солнечного ветра» на авроральную зону (где магнитные силовые линии геомагнитного поля имеют практически вертикальное направление) [1]. Также при мощных вспышках на Солнце на Землю извергается мощный поток корпускулярных излучений, что может явиться причиной магнитной бури, а затем и ионосферной бури, приводящей к резкому ухудшению, а порой и полному прекращению связи в КВ диапазоне. В этом случае вероятность нарушения может достигать 40 % [2].

Радиосвязь на КВ обеспечивается преломлением (отражением) волны внутри какого-либо слоя ионосферы. Ионосфера Земли представляет собой совокупность ионизированных слоев или областей (D, E, F), расположенных на расстоянии 60–400 км от поверхности Земли, возникающих под воздействием солнечной радиации и плавно переходящих одна в другую.

Степень ионизации становится существенной уже на высоте 60 километров и увеличивается по мере удаления от Земли [3].

В ночное время, когда отсутствует излучение Солнца, концентрация ионизированных частиц падает, что приводит к ослаблению преломляющих свойств ионосферы [4] и изменению условий распространения радиоволн. Такие процессы существенно влияют на организацию радиосвязи.

Какой же опыт организации связи в Арктике накоплен к настоящему времени и как необходимо решать проблемы связи?

Тропосферная и радиорелейная связь

К 1965 году в Советском Союзе в отдаленных районах северной части страны была построена тропосферная линия связи «Север». В ее основу легла система связи «Горизонт-М». Система связывала между собой 46 станций и насчитывала 7 линий и 2 узла. Тропосферные линии связывали следующие основные пункты:

- Серов — Воркута (6 станций);
- Красноярск — Норильск (6 станций);
- Якутск — Тикси (5 станций);
- Воркута — Анадырь (19 станций);

- Магадан — Якутск (5 станций);
- Магадан — Анадырь (8 станций);
- Архангельск — Оленегорск (3 станции).

Общая протяженность тропосферной линии составляла 13200 км. Линия позволяла обеспечить тропосферной радиорелейной связью практически 60 % территории государства (название тропосферной связи происходит от способа отражения лучей — от слоев тропосферы, а радиорелейной связи — от способа связи станций между собой — по цепочке станций, «по реле»). Тропосферная радиорелейная линия (ТРЛ) была развернута в районах, где использование иных видов связи было проблематичным по причине сложных климатических условий и отдаленности [5]. Спутниковая связь по причине дороговизны широкого применения еще не находила.

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

Строительство ТРЛ не было случайным, так как она обладала рядом качеств, которые делали ее наиболее приемлемой.

Во-первых, расстояние между станциями доходило до 400–600 км, и для обеспечения связи совершенно необязательно было иметь прямую видимость.

Во-вторых, для построения линии не требовалась прокладка кабелей и прочих коммуникаций между станциями, что существенно упрощало развертывание тропосферной радиорелейной линии связи.

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

Однако технология тропосферной связи не была совершенной. Смещение и ослабление сигнала порой затрудняло корректную работу станций. Для повышения надежности приема сигналов применялся многократный разнесенный прием и автокорреляция.

Уже в 70-х годах общая протяженность системы тропосферной и радиорелейной связи в Арктике составляла порядка 100 тысяч километров. Буквально за какие-то 25 лет конструкторам удалось добиться впечатляющих результатов в области разработки и модернизации тропосферных и радиорелейных линий.

Спутниковая связь в Советском Союзе развивалась вместе с развитием космических технологий и, со временем, затраты на использо-

вание и поддержание ТРЛ «Север» стали гораздо выше, чем затраты на обеспечение спутниковой связи. Кроме этого, спутниковая связь отличается большой достоверностью и надежностью сигнала. Использование ТРЛ стало невыгодным в связи с тем, что для обеспечения связи потребовались очень большие энергоресурсы. К тому же, оборудование ТРЛ устаревало и требовало модернизации, средства на которую не выделялись.

После распада СССР в Арктической зоне радиорелейную, но уже цифровую связь начали интенсивно использовать такие операторы связи, как Ростелеком, МТС, Мегафон, Билайн.

Передача данных на тех участках, которые раньше покрывала ТРЛ «Север» стала обеспечиваться спутниковой связью.

ТРЛ «Север» была снята с эксплуатации в 2003 году. Сейчас ни одна из станций не используется по своему назначению. Многие антенны стоят на прежних местах, и демонтировать их пока что никто не собирается, т. к. большинство из них находится очень далеко от населенных пунктов. На многих станциях до сих пор можно найти остатки аппаратуры. На сегодняшний день, станции представляют собой больше туристические объекты, чем практически применимые станции связи. Затерянные во льдах Сибири, многие из них постепенно деградируют под воздействием суровых климатических условий.

Существенную конкуренцию тропосферной составила спутниковая связь, однако учеными все еще ведутся разработки по улучшению средств передачи и приема тропосферной связи. Основная проблема обеспечения тропосферной связи лежит в громоздкости аппаратуры и дороговизне обеспечения работоспособности. При этом скорость передачи по ТРЛ ниже, чем в спутниковых линиях связи.

Основная задача дальнейшего развития тропосферной связи лежит в поиске новых технологий. Портативные сверхточные приемопередающие средства при дальности связи в 250–1000 км, без прямой видимости, с высокой скоростью развертывания и низким энергопотреблением однозначно будут востребованы.

Сегодня одним из самых интересных разработчиков в сфере тропосферной связи, является компания Comtech Systems Inc., которая ведет активную работу для перехода радиорелейной связи на новый уровень [6]. Компанией

были презентованы устройства, которые уже на несколько шагов опережают технологии, использованные в свое время для создания ТРЛ «Север». Кроме того, разработаны «плавающие» платформы, обеспечивающие скорость передачи данных до 20 Мбит/сек.

ФГУП МНИРТИ ведет работу в данном направлении. Последние разработки наших соотечественников показали, что использование тропосферной связи может быть более выгодным, чем спутниковой, если речь идет о сроке эксплуатации более 3-х лет. При этом скорость, которой позволяет добиться новейшая разработка ФГУП МНИРТИ, составляет 2 Мбит/с, а вес оборудования не превышает 80 кг. В данном случае тропосферная связь приобретает «второе дыхание», так как такие характеристики позволяют использовать оборудование для оперативного развертывания линий связи.

Богатый опыт создания и модернизации техники тропосферной связи накоплен отечественными предприятиями, в частности ФГУП «НПП «Радиосвязь» Красноярск. С 60-х годов прошлого века и до наших дней на предприятии было разработано и внедрено в производство пять поколений станций тропосферной связи. В Вооруженных Силах хорошо известны и прекрасно себя зарекомендовали тропосферные станции Р-412, Р-423–2 А.

С 2006 года в серийное производство запущена контейнерная цифровая станция тропосферной связи Р-423-АМК, работающая в частотном диапазоне 4,4–5 ГГц. Она имеет пропускную способность до 2048 кбит/с и работает в два независимых направления связи.

Основные технические характеристики тропосферной станции Р-423-АМК представлены ниже в таблице.

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

В станциях используется цифровая обработка сигналов, сигнальные методы защиты от помех, автоматизированные управление и топографическая привязка.

Представленные тропосферные радиорелейные станции могут применяться для строительства осей и рокад в Арктической зоне и размещаться на островах, плавучих платформах и в других труднодоступных местах.

Параметры	Краткая характеристика
Диапазон частот, МГц	4400...5000
Кол-во каналов \times (кбит/с)	(30...1) \times (1,2...16; 64...2048кбит/с)
Мощность передатчиков, Вт	2 \times 300
Диаметр антенны, м	2 \times 2,5
Дальность на интервале, км	115...185 для скорости 2048...64 кбит/с
Транспортная база	Контейнер КК3.1.01.2 на авто КАМАЗ



Рис. 1. Тропосферная радиорелейная станция «Сосник-4ПМ»

Радиосвязь на средних и коротких волнах

Радиосвязь на средних волнах (СВ) применяется для связи между кораблями, навигации и передачи сигналов об авариях. Всем известный «Титаник» передавал сигналы SOS на СВ.

Средние волны диапазона 300 кГц — 3 МГц (1 км — 100 м) распространяются как пространственным, так и поверхностным лучом. Распространение этих волн зависит от степени ионизации атмосферы. Уверенный прием поверхностным лучом осуществляется на 200–300 км. Днем в диапазоне средних волн можно принимать радиостанции находящиеся на расстоянии до 1000 км. Ночью дальность приема гораздо больше, чем днем, что связано с солнечной активностью. Ночью не происходит поглощения энергии радиоволн слоем D, так как он исчезает. Отражение радиоволн происходит от более высокого слоя E, что обуславливает большую дальность приема [8].

Ночью средние волны становятся пространственными волнами. В результате колебаний верхнего ионизирующего слоя, уровень сигнала

при приеме пространственных волн подвержен замираниям (федингам). Это особенно заметно в сумеречные утренние и вечерние часы, когда интенсивно изменяется высота ионизированного слоя D. Фединг затрудняет дальний прием на средних волнах. Наиболее резко это явление проявляется для волн длиной 60–400 м. С уменьшением длин волн длительность замирания уменьшается и для волн короче 100 м составляет доли секунды. В УКВ диапазоне замирания вообще отсутствуют [8].

С увеличением длины волны проявление фединга снижается и уже при длинах больше 10000 м несущественно. Наибольшие замирания наблюдаются в период восхода и захода солнца. Длинные волны (ДВ) частотой 153–279 кГц за счет хорошего отражения от нижних слоев ионосферы (днем от слоя D, ночью от слоя E) и от Земли могут распространяться на очень большие расстояния. Длительность замираний на ДВ составляет несколько секунд. Качество приема на ДВ резко ухудшается с появлением грозных разрядов и промышленных помех. С уменьшением частоты интенсивность воздействия на радиоприем перечисленных помех возрастает [8].

В СВ диапазоне работает большое количество радиостанций, которые расположены практически во всех районах Земного шара. Французская компания в Бискайском заливе передатчиком мощностью 180 Вт на частоте 500 кГц обеспечивала передачу данных на расстояние 200–300 км.

В 2013 году экспедицией Федора Конюхова был получен уникальный опыт организации радиосвязи с Северным Полюсом в КВ диапазоне на частоте 14.170 МГц. Эфир заполняли позывные радиолюбителей со всех уголков Земли: Италии, Чехии, Словакии, Украины, России — от Калининграда до острова Врангеля и многие другие. Подобный опыт подтверждает

необходимость использования меридиональных ретрансляторов для дальних широтных связей.

В настоящее время отечественные специалисты разработали ряд СВ радиостанций. Существуют мобильные СВ радиостанции, работающие в диапазоне 400–500 кГц.

Широкое применение находит средневолновая радиостанция «Ноэма-СВ».

Радиостанция используется для передачи навигационных данных, сводок погоды, передачи сигналов об авариях. С ее использованием можно обеспечить связь вдоль Северного морского пути. Радиостанция работает в диапазоне 1,6–2,5 МГц. Имеет двойное преобразование частот. Виды передаваемых сигналов — J3E и H3E. Скорость передачи 1200 кбит/с. Радиостанция сохраняет нормальную работоспособность после погружения под воду на 1 час. Вес радиостанции — 3,5 кг.

К пульту радиостанции можно подключить компьютер для ее настройки.

Антенна радиостанции — штыревая, высотой 5,5 м.

При мощности 8 Вт на частоте 2 МГц обеспечивается связь на 60 км, а на частоте 500 кГц — 120 км.

В качестве радиопередающего устройства может применяться Р-638 «Нептун-1000», производства ОАО «НИИ «Нептун», структурно входящего в ПАО «Интелтех».

Радиопередатчик предназначен для обеспечения радиосвязи как с береговыми пунктами управления, кораблями и авиацией, так и с аварийными объектами и силами поиска и спасения.

Р-638 может использоваться в составе комплексов связи и автономно.

Он обеспечивает круглосуточную работу в симплексном и полудуплексном режимах на приемопередающую антенну, а также на разнесенные приемную и передающую антенны:

- в радиоканалах открытой телеграфной и телефонной связи;
- в радиоканалах системы «Сплав»;
- в системе ГМССБ в режимах ЦИВ.

Основные характеристики:

Параметры	Краткая характеристика
Диапазон рабочих частот, МГц	1,5.. .29,99999
Шаг сетки рабочих частот, Гц	10
Число предварительно подготовленных каналов	не менее 99
Номинальная выходная мощность, непрерывно, Вт	1000 (500)
Классы излучений	A1 A, F1B, G1B, R3E, H3E/A3E, J3E
Чувствительность приемного тракта — при приеме излучений класса A1 A, F1B, G1B, R3E, J3E, мкВ	не хуже 1
— при приеме излучений класса H3E/A3E, мкВ	не хуже 4
Управление местное и дистанционное по интерфейсам	ИРПС, RS-485, Ethernet
Электропитание	3-фазная сеть переменного тока 380 В, 50/400 Гц
Потребляемая мощность, кВА, не более	3.0

В Арктической зоне могут применяться такие отечественные радиостанции работающие в СВ и КВ диапазонах, как Р-161А2М, Р-166 (идет на замену Р-161А2М), Р-633, ПТ-100Ц, ПТ-250Ц, ПТ-500Ц, ПТ-1000Ц.

Для приема сообщений в СВ и КВ диапазоне возможно применить современные радиоприемники Р-170П, Р-693, Р-693–01, Р-774К1, Р-774ДСК-1, Р-774ДС1 и поступающие им на замену ЦРПУ-2ДСК.

Радиоприемник Р-693, например, имеет 16 каналов. Его модификации позволяют вести радиоприем на 4, 8, 12 и 16 каналах одновременно и принимать сигналы от 10 кГц до 80 МГц в СДВ-СВ-КВ-УКВ диапазонах и от 1,5 до 30 МГц в КВ диапазоне.

ЦРПУ-2ДСК представляет собой 2-канальное радиоприемное устройство, работающее от 2-х антенных входов и построенное с использованием технологии SDR. Диапазон рабочих

частот каждого из каналов от 0,1 до 80 МГц с шагом перестройки 1 Гц.

В настоящее время АО «ОНИИП» разработан модернизированный комплекс технических средств МКТС-1 (5) с выходной мощностью передатчика 1 и 5 кВт. МКТС-1 применяется для оснащения совмещенных и разнесенных радиоцентров автоматизированной адаптивной радиосвязи ДКМВ диапазона.

В качестве мощного радиопередающего устройства может применяться передатчик мощностью 5 кВт «Водопад-5». Ведется разработка перспективного радиопередающего устройства «Водопад-20».

Для построения современных ведомственных сетей связи рекомендуется применить следующее оборудование, производимое ПАО «Интелтех» совместно с ООО «СТТ»:

мультисервисный интегральный комплекс связи «МИКС-03», позволяющий создать телекоммуникационную инфраструктуру на основе пакетных и канальных методов коммутации, построить объектовую сеть, развернуть сеть традиционной телефонной связи и IP-телефонии;

коммутаторы Ethernet КН-100–32/4 и Ethernet КН-100–8–01, предназначенные для развертывания и физической структуризации локальных сетей по технологии Ethernet, осуществляют неблокируемую коммутацию между любыми из 36 и 8 портов соответственно;

медиаконвертеры КСПЕ-100–01 для преобразования электрических сигналов в оптические и конвертеры интерфейса КИ-Е-4Е1–01;

цифровые абонентские терминалы ТЦА-Р-01.

Для обмена управляющей информацией береговых командных пунктов с подводными лодками и надводными кораблями, их соединениями, а также для связи между собой отдельных подводных лодок и кораблей рекомендуется применить хорошо себя зарекомендовавшую аппаратуру автоматизированного приема и передачи быстродействующей и сверхбыстродействующей связи «Трасса-Э», производимую ПАО «Интелтех».

Спутниковая связь

Использование спутниковой связи при освоении Арктического региона и по обеспечению надежной обороны северных территорий РФ является приоритетным направлением.

В настоящее время все гражданские станции спутниковой связи работают через ретранслято-

ры на геостационарной орбите. Производители оборудования утверждают, что их станции спутниковой связи обеспечивают связь во всей Арктике. Однако опыт показывает, что на островах архипелагов Земля Франса Иосифа и Северная Земля наземные спутниковые средства связи не могут работать с ретрансляторами на геостационарной орбите. При угле наклона антенны меньше 4° очень большое затухание сигнала. С геостационарной орбиты (ГСО) возможно обеспечить связь до 75° с. ш. Поэтому в высокоширотных районах, за 75° с. ш., спутниковая связь в Арктике может быть обеспечена только через космические аппараты (КА) на высокоэллиптической орбите (ВЭО).

Следующая проблема — это скорость передачи сигнала по каналу спутниковой связи. В Советском Союзе был принят стандарт — 64 кбит/с. Международным стандартом принята скорость 384 кбит/с. Во всем мире идет гонка и стремление обеспечить скорость передачи данных 2 Мбит/с и более. Однако, как отмечал В. М. Николаенко, участник экспедиции по организации спутниковой связи на Северном полюсе, на II Всероссийской научно-технической конференции «Системы связи и радионавигации», мало кто представляет, что канал связи с такой скоростью — это «золотой» канал связи. Для передачи данных вполне достаточно скорости 1200–4800 бит/с.

В настоящее время известны следующие государственные и корпоративные спутниковые системы связи «Меридиан», «Ямал», «Гонец», «ИССС» и другие. Можно ли все эти системы использовать для решения государственных задач? Опыт показывает, что для обеспечения спутниковой связи в интересах Вооруженных Сил РФ должны быть системы с государственной поддержкой.

Как же необходимо решать подобные проблемы и организовать спутниковую связь в Арктике?

На основе опыта, полученного при обеспечении спутниковой связи в ходе операции «Борнео» по высадке Российско-Белорусского десанта ВДВ в районе Северного полюса, для обеспечения мобильным подразделениям ВДВ высоконадежной спутниковой связи с пропускной способностью до 256 кбит/с необходимо [9]:

1 Использовать находящиеся на снабжении ВС РФ станции спутниковой связи для работы в движении Р-444-ПТД в контейнерной постав-

ке, либо носимые станции Р-444-ПТН с монтажным комплектом, обеспечивающим работу через КА на ВЭО. Основные характеристики станций приведены в таблице ниже.

2. Использовать стволы № № 1,2 ретранслятора на ВЭО «Меридиан», работающие в X и C диапазонах соответственно. При этом с учетом энергетических параметров ствол X диапазона должен быть нагружен на приемо-передающую антенну 5×5°. При этом обеспечивается

одновременная работа трактов прямой ретрансляции (ПР) и обработки сигналов на борту (ОСБ) ретранслятора [9];

В ходе операции «Борнео» обеспечивалось дуплексное направление УС МО РФ Московская область — КА «Меридиан», ОВ ствол № 1 — точка стояния широта 89°39'19". Долгота — 25°38'52". Скорость работы составляла 256 кбит/с в режиме ПР или в режиме ОСБ — 4,8 кбит/с.

Параметры	Краткая характеристика	
Р-444-ПТД/Р-444-ПТН		
Диапазон частот, МГц	С	Х
Диаметр антенны, м	0,45/0,6	0,35/0,6
ЭИИМ, не менее, дБВт	37	39
Добротность приемной системы, дБ/К	1,6	3,3
Количество каналов	1–2	
Интерфейсные окончания	С1-ФЛ-БИ, 2-х проводная абонентская линия, Ethernet	
Канальные скорости, кбит/с	1,2256	
Методы многостанционного доступа	Режим ПР: МДКР, МДЧР с ПКТ Режим ОСБ: МДЧВРК, радио-АТС	
Масса станции, кг	40/17	

В районе Северного полюса с использованием средств ЕССС-2 была обеспечена устойчивая связь с предоставлением цифровых каналов для IP телефонии и шифрованной видеоконференцсвязи (ВКС). Качество ВКС было хорошее.

В настоящее время в АО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева» разрабатывается космический аппарат связи с высокой пропускной способностью для создания широкополосной сети спутниковой связи «RGS-B».

В составе КА должен использоваться многоствольный бортовой ретрансляционный комплекс (БРТК) с высокоэнергетическими стволами прямой ретрансляции в диапазонах С (4/6 ГГц) и Ка/Ku (20/44 ГГц).

Характеристики создаваемого КА сети спутниковой связи «GRS-B» близки к характеристикам космических аппаратов новейших зарубежных систем спутниковой связи и обладают рядом преимуществ:

высокая пропускная способность КА, позволяющая передавать большие объемы информации, в том числе в условиях сложной элек-

тромагнитной обстановки (ЭМО), что стало актуальным при плотной загрузке геостационарной орбиты (ГСО);

реализация стволы связи в полосах частот диапазона Ка/Ku, предназначенных для подвижной спутниковой службы (ПСС);

повышенные коэффициенты усиления стволы бортового ретранслятора, обеспечивающие работу малогабаритных станций спутниковой связи, в т. ч. подвижных объектов;

использование многолучевых антенн, формирующих необходимые зоны обслуживания потребителей [10].

Расчеты показывают, что в каждом стволе С-диапазона при благоприятных условиях может быть организовано до 110 дуплексных направлений связи со скоростью 60 кбит/с каждый с применением типовых станций спутниковой связи Р-441. При ухудшении ЭМО за счет высоких энергетических стволы БРТК будет обеспечено устойчивое функционирование направлений связи при наличии помех от РЭС соседних спутниковых сетей. Направление связи со скоростью 60 кбит/с и 6 кбит/с смогут функционировать

при воздействии помех, превышающих полезный сигнал в 20 раз и в 80 раз, соответственно, но при этом общая пропускная способность ствола С-диапазона снижается в 12–15 раз [10].

Высокоэнергетические стволы КА сети спутниковой связи «RGS-B» диапазона Ka/Ku (20/44 ГГц) с многолучевыми антенными системами, формирующими узкие лучи $0,54 \times 0,54^\circ$, позволяют обеспечить высокие уровни защиты от мешающих сигналов других РЭС и коэффициент готовности направлений связи с подвижными объектами 0,95–0,96. За счет пространственной селекции в радиолинии Земля — КА обеспечивается защита от мешающих радиосигналов, превышающих уровень полезного сигнала от 71 раз для крайних и до 562 раз для центральных зон связи соответственно.

Группировка из 2 КА способна обеспечить 56 зон связи, каждая размером около 360 км, покрывая территорию от Северной Атлантики до Курильских островов и от южных границ РФ до полярных широт РФ [10].

В целом, с помощью сети спутниковой связи «RGS-B» возможно организовать широкополосную сеть мобильной спутниковой связи (ШСМСС).

ШСМСС должна строиться на базе мобильных (контейнерного типа) центральных спутниковых станций с антенной диаметром 4,2 м и обеспечивать работу в движении абонентских станций подвижных объектов с диаметром антенн 0,45–0,5 м. Информационные скорости для станций, работающих в движении, составят 1024–2048 кбит/с.

Мобильные станции, оснащаемые автоматически развертываемыми антеннами диаметром 1,2 м при работе на стоянке и с коротких остановок должны обеспечивать дуплексную связь со скоростью от 2 до 6 Мбит/с.

В случае необходимости обеспечения всеми видами связи отдельных погранзастав и еще одной-двух обитаемых метеостанций выше 80° ш., как отмечает А. Крылов, директор ЦКС «Сколково», то можно даже при практически нулевых углах местности сделать это более дешевым способом, чем создание отдельной спутниковой системы связи Арктического региона.

А. Г. Курашов, специалист по антенным системам, предлагает на объектах связи в Арктике установить антенные системы с диаметром зеркала 4,8 или 3,8 м и облучающей системой от них с меньшим на один шаг диаметром зеркала 3,8

или 2,4 м соответственно [11]. Это приведет к небольшим потерям мощности, связанным с недостаточным облучением зеркала, но существенно снизит влияние подстилающей поверхности. Известно, что морская вода и морской лед имеют существенно меньшую шумовую температуру, чем поверхность суши.

На доработку антенных систем на двух-пяти объектах связи нужно будет потратить десятков-другой миллионов рублей, но не миллиарды, как в случае со спутниковыми системами на ВЭО.

На наш взгляд, такой подход и предложение необходимо взять на вооружение и использовать в ходе строительства системы связи в Арктике.

Нам известны системы связи двойного назначения, какой была система ТРЛ «Горизонт». Сейчас оформилась и продолжает развиваться иная тенденция. В настоящее время вооруженные силы развитых стран мира и НАТО в «горячих точках» мира широко используют коммерческие системы спутниковых операторов Iridium, Intelsat, Eutelsat, SES и другие. Компании SES и Intelsat создали отдельные подразделения по работе с военными клиентами и доходы от военных заказов в 2012 г. составили 8 и 20 % годовой выручки соответственно [11].

Исходя из международного опыта, отечественные компании должны создавать спутники связи с учетом использования их емкости для военных целей. И, на наш взгляд, нужно говорить не о системах связи двойного назначения, а об эффективном использовании вооруженными силами емкости коммерческих спутников связи для обеспечения операций на театрах военных действий.

Интегрированная сеть радиосвязи в Арктической зоне

В настоящее время в Арктике создаются новые материковые базы в Мурманске, Архангельске, Нарьян-Маре, Воркуте, Надыме, Дудинке, Тикси, Певеке, бухте Провидения, Анадыре. На острове Котельный, Земле Франца Иосифа и Новой Земле строятся островные базы. Учитывая климатические и физико-географические условия для организации управления на объектах, предлагается строить интегрированную сеть радиосвязи, представленную на рисунке 2.

От высших звеньев управления с пунктами управления баз необходимо организовать спутниковую связь. В зависимости от расположения

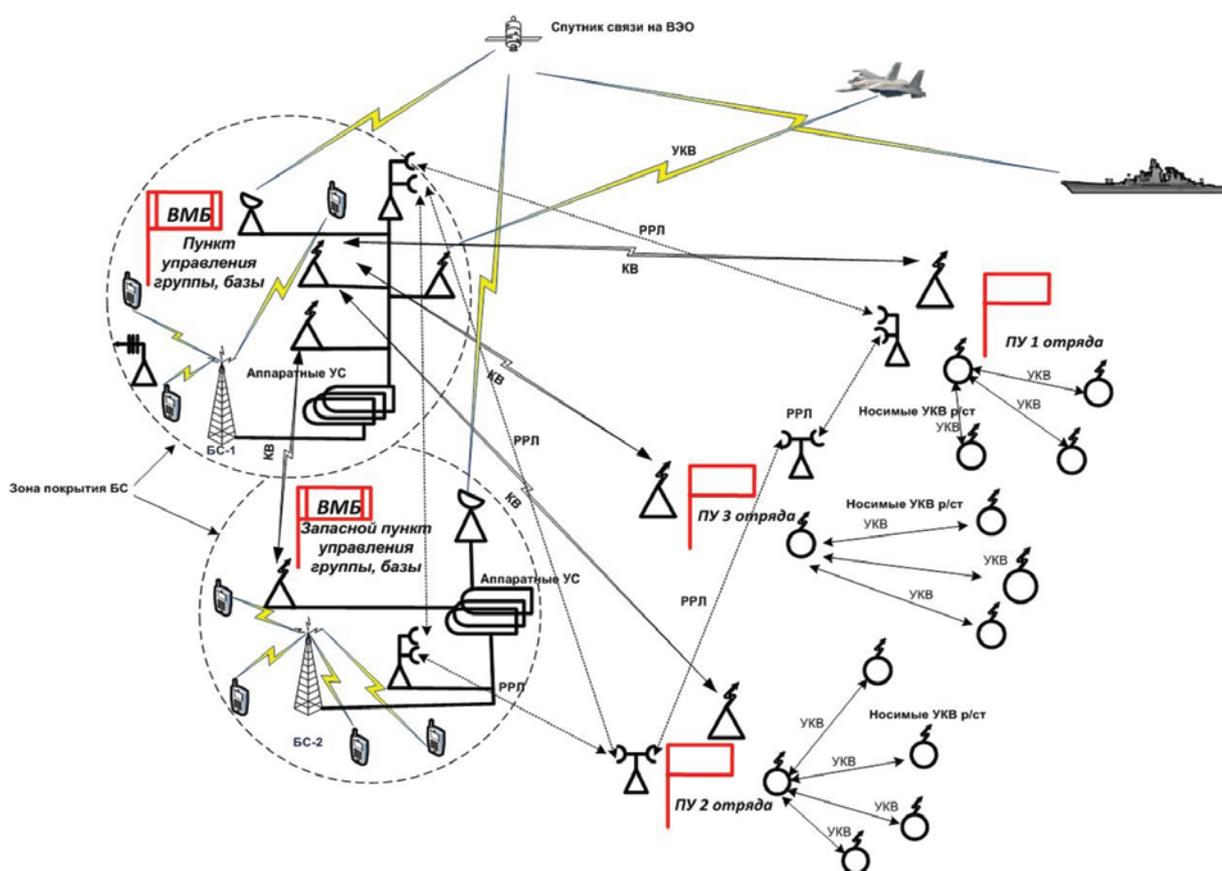


Рис. 2. Интегрированная сеть радиосвязи в Арктической зоне

баз использовать спутники связи на геостационарной орбите — до 75° с. ш. (Ямал, Экспресс, Гонец) и севернее 75° — спутники на ВЭО Меридиан. В перспективе можно будет использовать ресурсы разрабатываемых сетей спутниковой связи Арктика, Эллипс и RGS-B.

В качестве окончательных станций спутниковой связи предлагается использовать Р-441, Р-444-ПТН и Р-444-ПТД.

От пунктов управления баз с объектами рекомендуется организовать следующие виды связи:

- радиорелейную связь с помощью специальных мобильных комплексов (СМК-О, СМК-В, производства радиозавода им. А. С. Попова), с пропускной способностью 8–34 Мбит/с и дальностью связи до 30 км или Р-419Л1, обеспечивающих и радиорелейную связь и организацию локальной соты мобильной связи стандарта GSM/DCS с возможностью выхода абонентов в легитимные сети сотовой связи, сети радиорелейной, проводной, спутниковой связи и УКВ радиосвязи;

- радиодоступ с помощью БС «Мир» на дальность до 40 км, номерной емкостью более 1300 абонентов;

- КВ радиосвязь земной волной до 40 км. На объектах организуется радиодоступ и УКВ радиосвязь с помощью абонентских носимых станций.

Между объектами организуется радиорелейная связь, КВ и УКВ радиосвязь.

На расстояниях до 200 км возможна тропосферная связь с помощью контейнерных цифровых станций тропосферной связи Р-423-АМК, работающих в частотном диапазоне 4,4–5 ГГц, с пропускной способностью до 2048 кбит/с.

Возможна организация тропосферной связи с помощью малогабаритной перевозимой цифровой станции диапазона 4,4–5 ГГц «Сосник-4ПМ» с антенной диаметром 1,5 м, обеспечивающей с пропускную способность до 512 кбит/с.

Вывод:

Организацию связи в Арктике усложняют суровые климатические условия, отсутствие до-

рог, краткосрочная навигация, северные сияния, магнитные и ионосферные бури.

Тропосферная и радиорелейная связь возможна как на островах, так и между ними. Тропосферные и радиорелейные средства возможно применить для строительства осей и рокад связи на материковой и островной частях. Дальность связи определяется техническими возможностями оборудования: до 180 км тропосферный интервал и до 20–40 км — радиорелейный.

Радиосвязь возможна на средних и длинных волнах. Коротковолновая радиосвязь подвержена сильным замираниям и многолучевости,

поэтому возможна земной волной на небольшие расстояния. Для связи на дальние расстояния более 40 км необходимо использовать меридиональные КВ радиолнии с ретрансляторами.

УКВ радиосвязь возможна на короткие расстояния. На объектах возможно организовывать сотовую связь.

Спутниковая связь в Арктической зоне является приоритетной. Геоостационарной орбиты возможна связь до 74° с. ш. На более высоких широтах возможна спутниковая связь только с высокоэллиптической орбиты.

ЛИТЕРАТУРА

1. Прохождение сигнала по «высокоширотным трассам». — Режим доступа: <http://www.radioscanner.ru/forum/topic/31995.html>

2. О КВ радиосвязи. — Режим доступа: <http://etc-com.ru/radio/HF-about/?dir=1>

3. Мальков М. В. Развитие информационно-телекоммуникационной среды в Арктике. // Труды Кольского научного центра РАН. Вып. № 7, 2011.

4. Особенности радиосвязи. — Режим доступа: <http://www.t-a.ru/stati/>

5. ТРРЛ Север — линия тропосферной связи СССР. — Режим доступа: <http://www.trrlsever.org/>

6. Современное состояние и перспективы ТРРС. — Режим доступа: <http://www.trrlsever.org/>

7. Сборник «Связь в Вооруженных Силах Российской Федерации — 2010». — Режим доступа: <http://army.informost.ru/>

8. Пестриков В. М. Энциклопедия радиолюбителя. — Режим доступа: <http://nauchebe.net/2012/09/dalnij-priem-na-sv-i-dv-radiostancij/>

9. Шинкарев В. И., Липатов И. А., Николаенко В. М. и др. Особенности обеспечения спутниковой связи по высокоскоростным трактам в X диапазоне в районе Северного Полюса. Системы связи и радионавигации. Сборник тезисов. / Под редакцией В. Ф. Шабанова. Красноярск: АО «НПП «Радиосвязь» 2015. С. 6–10.

10. Шинкарев В. И., Липатов И. А., Николаенко В. М. и др. Оценка соответствия характеристик космического комплекса сети «GRS-B» требованиям помехоустойчивости и возможности его применения в сложной электромагнитной обстановке для организации спутниковой связи и информационного обмена подвижных абонентов. Системы связи и радионавигации. Сборник тезисов. / Под редакцией В. Ф. Шабанова. Красноярск: АО «НПП «Радиосвязь» 2015 С. 11–17.

11. Анпилогов В. Р. О проблемах спутниковой связи и вещания в Арктике. // Журнал «Спутниковая связь и вещание» — 2014. Специальный выпуск. — Режим доступа: <http://jurnali-online.ru>

И. А. Кулешов

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

С. А. Солозобов

Кандидат технических наук, доцент, начальник НИО ПАО «Интелтех»

А. И. Истомин

Кандидат военных наук, доцент, Оргкомитет ФИФА 2018

В. В. Шевченко

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

ПОВЫШЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ УПРАВЛЕНИЯ И УВЕЛИЧЕНИЕ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ СЕТЕЙ РАДИОСВЯЗИ ЗА СЧЕТ РЕЗЕРВИРОВАНИЯ

(По опыту XXII Олимпийских и XI Паралимпийских игр в Сочи)

АННОТАЦИЯ. Опыт организации радиосвязи на крупных международных соревнованиях является уникальным. Ограниченная территория — небольшого города с двумя локальными местами проведения соревнований в горном и прибрежном кластерах, большое количество участников соревнований — пользователей радиоэлектронными средствами, делегации из десятков стран мира, говорящие на разных языках и длительность соревнований — 18 дней XXII Олимпийские и 10 дней XI Паралимпийские игры.

Как в этих условиях обеспечить устойчивое управление и построить сеть радиосвязи с достаточной пропускной способностью? Эти проблемы раскрывают авторы статьи.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: XXII Олимпийские, XI Паралимпийские игры, Сочи-2014, радиосвязь, радиосредства, организации связи, устойчивое управление, пропускная способность, сеть TETRA, абонентские трубки TETRA, резервирование средствами радиосвязи, базовые станции сети TETRA, аналого-цифровые радиосети Vertex и Hуtera, зона покрытия базовых станций, ДМО, ГМО, ретрансляторы, нагрузка, вызовы, разговорные группы.

При подготовке и проведении XXII Олимпийских и XI Паралимпийских игр был получен уникальный опыт организации связи на крупных международных соревнованиях с применением передовой техники связи и современных технологий.

Учитывая горный характер местности, радиосредства были основным средством управления.

С помощью радиосвязи были решены следующие основные задачи:

1. Обеспечение устойчивого управления Международному Олимпийскому и Паралимпийскому комитетам, различным Международным федерациям спорта, Национальному Олимпийскому комитету Российской Федерации и других стран при подготовке и проведении соревнований, церемоний открытия и закрытия игр.

2. Обеспечение устойчивого и оперативного управления судьям на всех олимпийских и паралимпийских объектах при подготовке и проведении соревнований.

3. Обеспечение взаимодействия организаций, обеспечивающих подготовку и проведение Олимпийских и Паралимпийских игр (медицинских центров, транспортных и строительных организаций, служб охраны и безопасности, персонала, телерадиовещания, технологии и др.)

Особенность организации связи заключалась в том, что необходимо было обеспечить одновременную работу почти 40 тысяч радиоэлектронных средств из 88 стран, разных организаций и ведомств Российской Федерации на ограниченной территории. Эта особенность требовала грамотного планирования и использования частот,

обеспечения электромагнитной совместимости различных РЭС.

У Оргкомитета было много направлений функциональной деятельности (функций). В ходе подготовки и проведения спортивных соревнований необходимо было обеспечить связь 55 функций (спорта, протокола, телерадиовещания, СМИ, транспорта, технологии, награждений, аккредитации, экипировки, логистики, безопасности и т. д.). Эти функции отличались своей продолжительностью. Например, функция транспорта существовала с первого дня подготовки игр и до демонтажа объектов, а функция награждений — только во время проведения игр.

На организаторах игр лежала величайшая ответственность за обеспечение устойчивого, непрерывного и оперативного управления.

Для обеспечения управления была выбрана радиосеть стандарта TETRA. Почему именно TETRA? Сеть TETRA обладает следующими достоинствами:

1. Более высокая надежность системы по сравнению с сетями, имеющими отдельные коммутаторы и контроллеры БС. В случае выхода из строя одного или нескольких узлов или линий связи

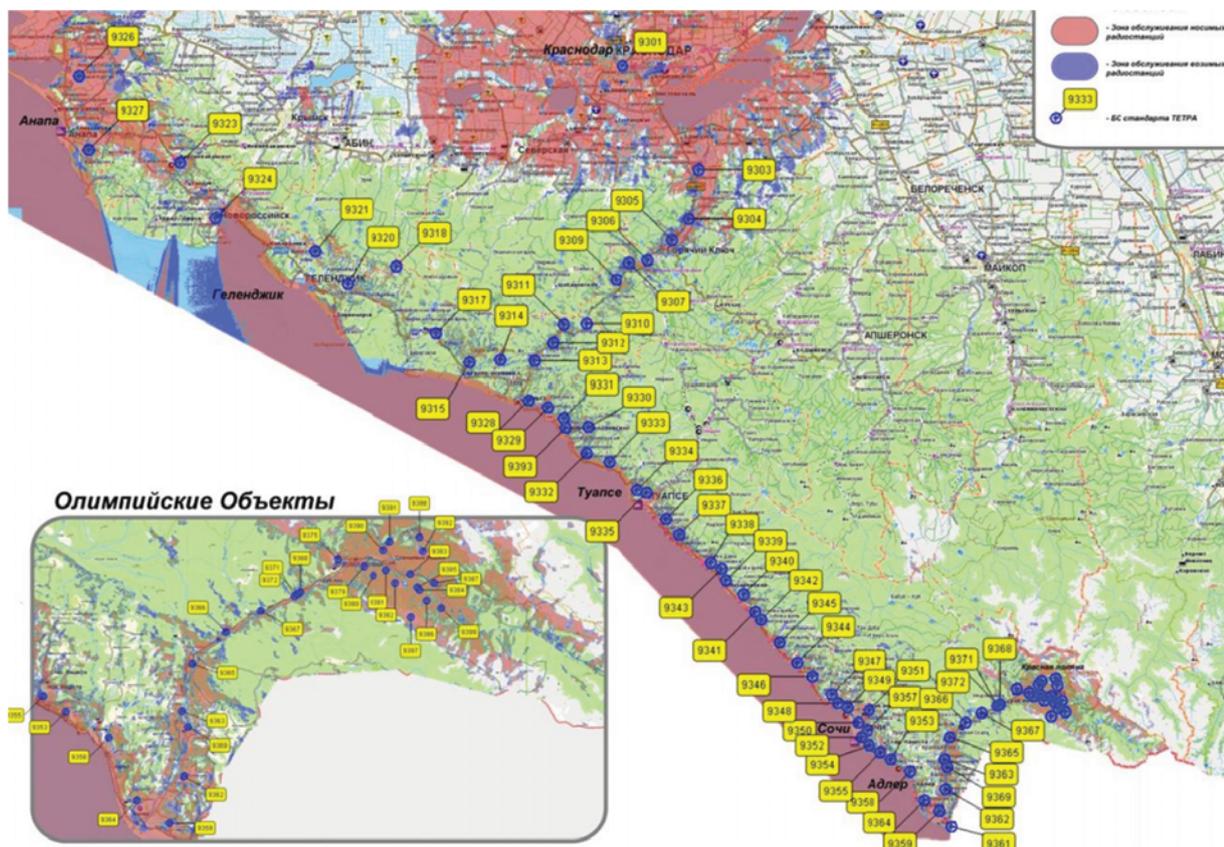
общей телекоммуникационной сети, остальные устройства продолжают нормально функционировать.

2. Автономность узлов. БС с собственным контроллером может временно (в случае пропадания канала связи) или постоянно работать самостоятельно, предоставляя полный пакет услуг связи в зоне ее действия.

3. Оптимальная гибкость системы. Фактически, сеть TETRA это набор устройств в региональной ведомственной сети, работающих под управлением Windows XP. Это дает удобство управление сетью и позволяет быстро и с минимальными затратами изменять конфигурацию сети, оперативно добавляя новые БС и сервисы.

Абонентские трубки TETRA также уникальны и отличаются следующими преимуществами:

1. Высокая ВЧ мощность 1.8 Вт.
2. Расширенный диапазон частот 407–473 МГц.
3. Степень защиты корпуса IP67.
4. Повышенная прочность корпуса и экрана.
5. Цветной дисплей высокого разрешения.
6. Полностью интегрированный Bluetooth.
7. Поддержка стандартных карт памяти Micro SD до 4 Гб.



8. Высокая мощность динамика 1,2 Вт.

9. Дополнительные функции: «ест пострадавший», прямой связи, местоопределения.

Расчет специалистами Оргкомитета Сочи — 2014 ожидаемой нагрузки на сеть радиосвязи и пропускной способности сети радиосвязи тетра [1], проведенный при подготовке соревнований, показал, что для устойчивого управления объектами на Олимпийских и Паралимпийских играх необходимо иметь большее количество радиоканалов.

Поэтому в радиосвязи применялось многократное (многоступенчатое) резервирование режимами TETRA и другими средствами радиосвязи. Переходы в различные режимы осуществлялись с помощью SMS руководителями объектов.

Построить в сжатые сроки разветвленную сеть подвижной радиосвязи, стационарную телефонную IP сеть в условиях гор и города непросто. Поэтому сети связи проектировали, строили и обслуживали несколько операторов, таких как: Ростелеком, Мегафон, РадиоТел, МС Спецтелеком и другие.

Для обеспечения сервисов радиосвязи Минкомсвязи России были определены ответственные государственные организации. За обеспечение радиосвязи TETRA ответственным ведомством была назначена Россвязь. За обеспечение управление радиочастотным спектром — Роскомнадзор. Общее руководство сервисами осуществлял Оргкомитет и специально созданное подразделение Спектрум.

К началу Олимпийских Игр была подготовлена инфраструктура связи, состоящая из двух коммутаторов (ЦКУ-1 и ЦКУ-2), радио подсистемы (84 БС сети TETRA) и локальных аналого-цифровых радиосетей Vertex и Hytera, транспортной сети (ВОЛП), систем электроснабжения и жизнеобеспечения [1].

Сеть БС TETRA Краснодарского края и Олимпийских объектов представлена на карте выше.

В Горном кластере радиосвязь на Олимпийских объектах обеспечивалась с помощью 13 базовых станций внешнего (Outdoor) и 2-х станций внутреннего исполнения (Indoor).

В Прибрежном кластере, учитывая характер Олимпийских объектов — громадные спортивные дворцы — арены, с металлическими экранящими стенами, были построены 9 БС с распределенными антенными системами вну-

три зданий и 5 БС внешнего исполнения. Такое решение позволяло обеспечить управление персоналом объектов с сохранением высокого уровня обслуживания при любых авариях на опорно-транспортной сети связи или на коммутаторе.

Схема размещения БС сети TETRA на Олимпийских объектах в Прибрежном кластере (Coastal Cluster) представлена ниже. На схеме показано: ММС — медиацентр, CVL — Прибрежная деревня, SCV — керлинг центр «Куб», OOV — Адлер Арена, OSV — ледовый дворец «Айсберг», BIV — ледовый дворец «Большой», MIV — ледовый дворец «Шайба», CES — Олимпийский стадион Фишт, UAC — центр аккредитации и выдачи информы.

Основным вопросом при планировании и строительстве сети радиосвязи был следующий, каким образом на ограниченной территории обеспечить пропуск большого разговорного трафика. Особенно актуально этот вопрос стоял во время церемоний открытия и закрытия игр.

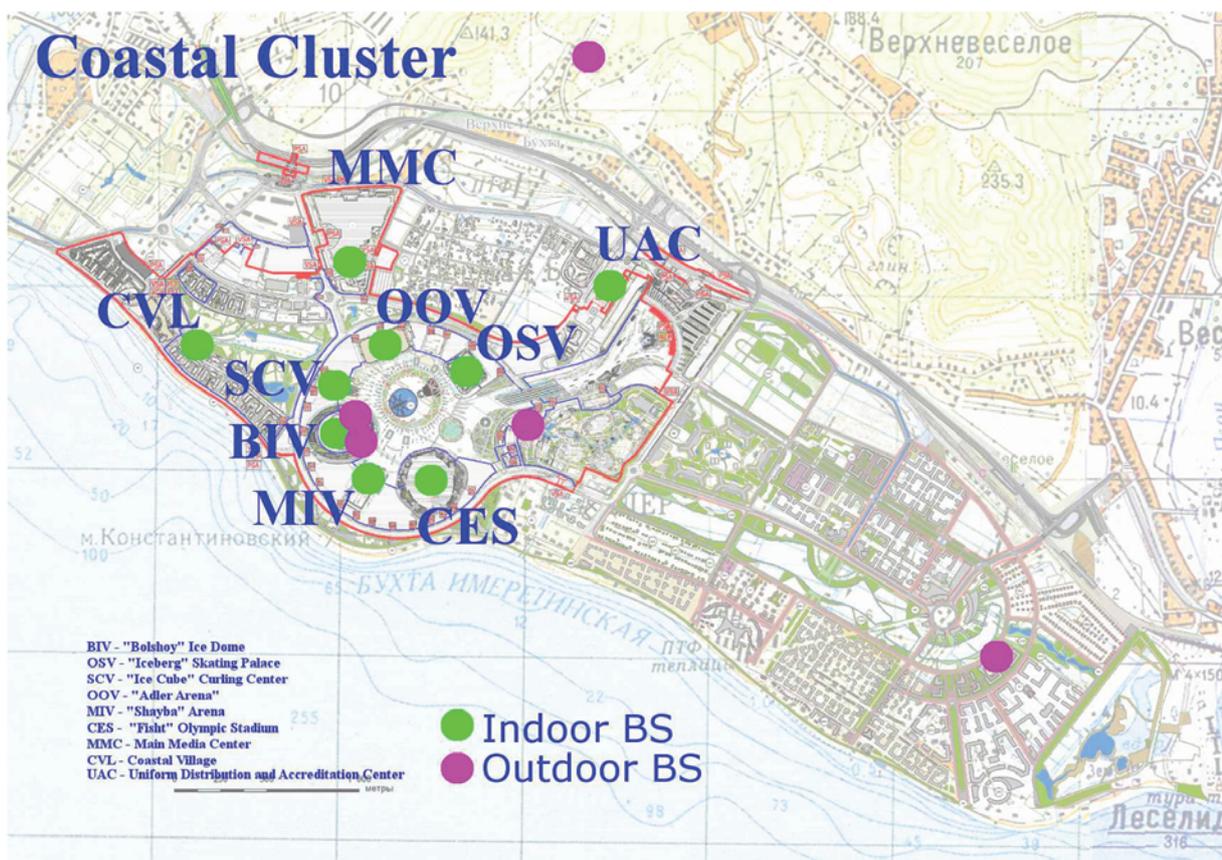
Чтобы обеспечить передачу большого объема трафика по радиосетям специалистами радиосвязи были организованы следующие мероприятия.

1. Базовые станции сети TETRA на важных объектах имели по два приемо-передатчика, двойной комплект антенн и соответственно частот. Это позволяло увеличить в два раза пропускную способность базовой станции и уменьшить время ожидания разговора.

2. Наиболее важные олимпийские объекты, где проводилось много соревнований, было задействовано значительное количество обслуживающего персонала, находились в зоне покрытия нескольких базовых станций. Например, стадион в зоне финиша на горно-лыжном центре Роза Хутор находился в радиозоне следующих базовых станций:

- на старте ГЛЦ;
- на финише ГЛЦ;
- на комплексе Лаура (лыжно-биатлонный комплекс);
- Экстрим Парка.

Абонентские трубки сети TETRA в зависимости от места нахождения пользователя и соответственно уровня сигнала соединялись с той базовой станцией, сигнал от которой был больше. В случае сбоя или перегрузки на одной базовой станции, абонент автоматически соединялся с той базовой станцией, сигнал от которой был большим.



3. Широко применялись базовые станции внутреннего исполнения с распределенными антеннами. Они ставились на объектах в дополнение к базовым станциям внешнего исполнения, чтобы увеличить пропускную способность сети TETRA. Кроме этой задачи, решалась еще одна — увеличение зоны покрытия БС с целью обеспечения связи во всех помещениях здания. Особенно это было важно в медицентрах, где работали телерадиовещатели и представители прессы, на стадионах «Шайба» и «Фишт».

К выходу БС внутреннего исполнения через антенные делители подключалось до 8 антенн, которые разносились по разным этажам и помещениям, чтобы обеспечить максимальный уровень сигнала БС во всех помещениях здания. Типовая схема соединения БС внутреннего исполнения с антеннами представлена на следующей схеме.

Для соединения БС внутреннего исполнения с 8 антеннами потребуется один делитель на 2 и четыре делителя на 4 направления.

Подобные схемы включения БС можно с успехом применять на различных пунктах управления администраций, силовых структур,

судах флота, закрытых объектах, предприятиях и организациях в повседневной деятельности, а также при проведении спортивных мероприятий национального и международного уровня.

Для повышения устойчивости управления в случае сбоя на сети, которая насчитывала до сотни базовых станций, планировался и отработывался режим «Full beak» — переход БС к работе без коммутатора и связи с другими БС сети [2]. А такие случаи были. При этом абоненты объекта связывались между собой через одну БС. С целью сохранения целостности разговорных групп, чтобы не было их разрыва с помощью других БС, эти БС приходилось выключать.

Режим ТМО (Trunk Mode Only)

Следующим видом резервирования в сети радиосвязи являлось обеспечение работы абонентов на наиболее важных олимпийских объектах через ДМО репитеры. ДМО репитеры — это устройства прямой связи на объекте. Они использовались в случае нарушения работы сети тетра и невозможности работы БС в режиме «Full beak». Устанавливались такие репитеры в сайтах БС, их антенны выносились и устанавливались как

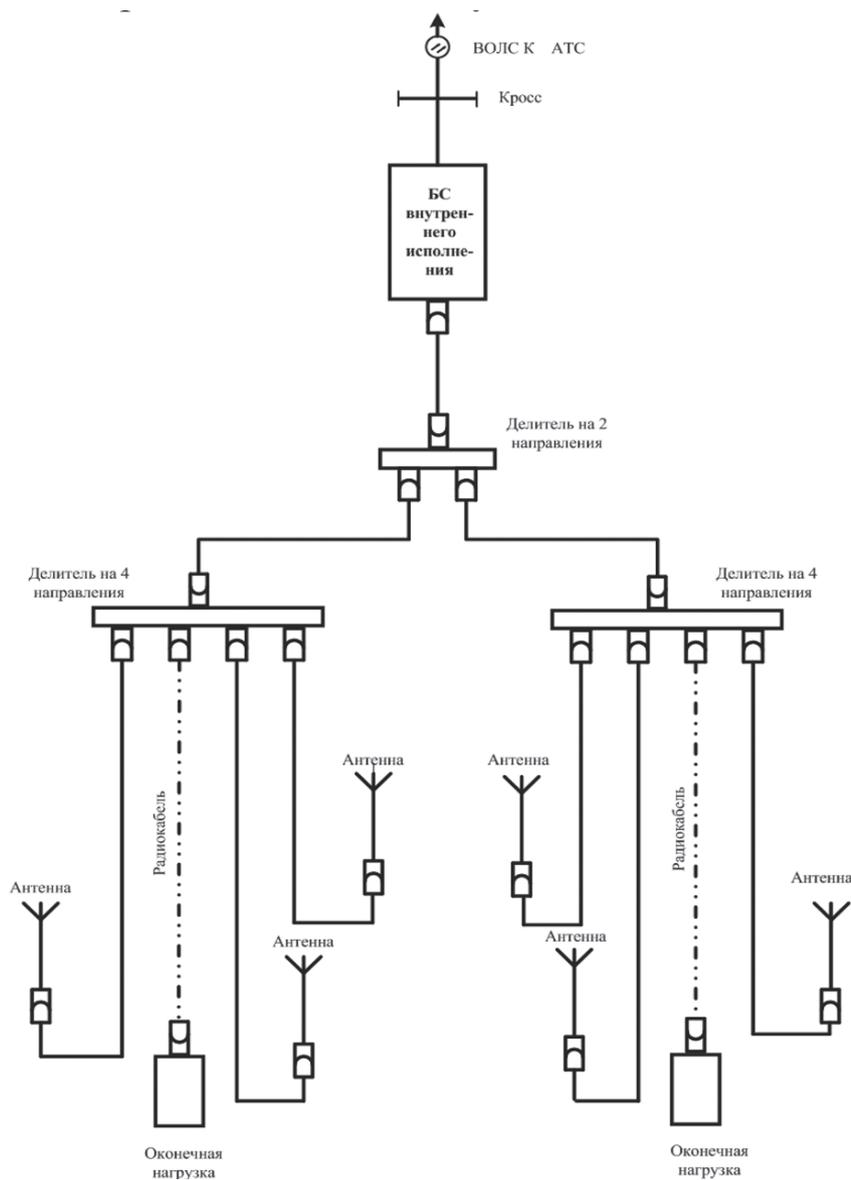


Рис. 1. Типовая схема соединения БС сети тетра внутреннего исполнения с антеннами



можно выше на мачте этой же БС. На БС Экстрим Парка было установлено 8 ДМО репитеров. Каждый репитер на своем рабочем канале, в случае аварии на БС, обеспечивал связь одной из разговорных групп: руководителей на объекте, заместителей руководителя, медикам, транспорту, спортсменам — два канала, безопасности и один канал — всем остальным функциям.

Уникальность абонентских трубок TETRA в том, что они позволяют абонентам работать между собой при нахождении вне зоны покрытия БС. При этом даже не используются ДМО репитеры. Это режим прямой связи. В этом случае абонентские трубки работают между собой как приемопередающие станции. Мощность абонентских станций достигает 1,8 Вт. Дальность связи определяется прямой видимостью между абонентами.

Надо отметить, что генеральную репетицию Церемонии открытия Олимпийских Игр команда объекта Фишт организовала, используя радиосредства TETRA в режиме прямой связи между абонентами. При этом работало 25 абонентских групп от 5 до 30 абонентов в каждой. Оченьгодились специально полученные частотные разрешения и предшествующие тренировки команды объекта.

Режим ДМО (Direct Mode Only)

Режим ДМО (режим прямой связи) предусмотрен для работы в труднодоступных местах (изолированных помещениях, подвалах и т. п.).



Многие пользователи впервые получали абонентские трубки TETRA и испытывали некоторые затруднения в их применении. Абонентам необходимо было обучить, как ими пользоваться.

При подготовке к соревнованиям был создан резерв из простых аналоговых радиосредств. Сеть связи на простых аналоговых радиосредствах менее подвержена сбоям.

При проведении соревнований по слалому или скоростному спуску на трассе находится сразу несколько спортсменов, стартующих друг за другом. На трассе при падении одного спортсмена необходимо немедленно, по надежным радиосредствам остановить соревнование. Чтобы следующий спортсмен не наехал на упавшего и не получил травму. С этой целью был подготовлен резерв из 100 аналоговых радиостанций Vertex и 400 аналого-цифровых радиостанций Hytera.

На горно-лыжном центре были созданы две радиосети на аналоговых радиосредствах:

- на радиостанциях Vertex (2 ретранслятора и 100 радиостанций);
- на радиостанциях Hytera (2 ретранслятора и 100 радиостанций).

На Русских горках, Санках и лыжно-биатлонном комплексе были развернуты аналоговые радиосети с помощью радиостанций Hytera.

Абонентские станции Vertex и Hytera обеспечивали по 16 разговорных каналов.

Аналоговые радиосредства планировалось использовать и как мобильный резерв для обеспечения связи на любом соревновательном объекте в случае сбоя на сети TETRA.

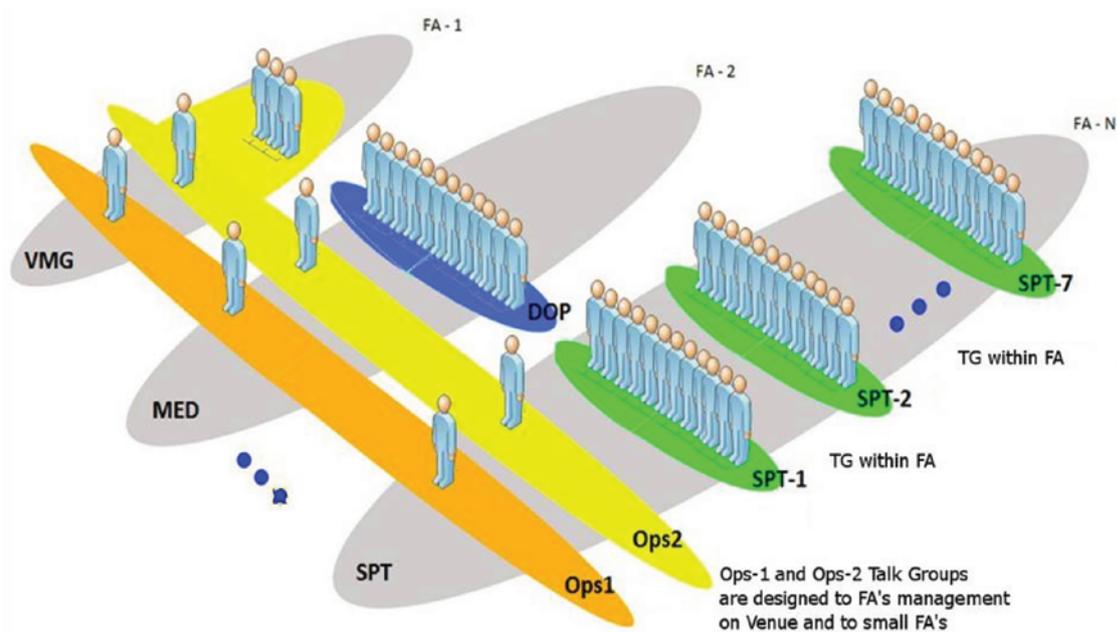
И чтобы отдать должное простым и надежным аналоговым радиостанциям Vertex, следует отметить, что судьи на трассах горно-лыжного центра для проведения соревнований выбрали именно их.

Генеральным спонсором XXII Олимпийских и XI Паралимпийских игр в Сочи был сотовый оператор ОАО «Мегафон».

Каждому члену оргкомитета Сочи-2014, подавляющему большинству обеспечивающего персонала была предоставлена возможность бесплатного пользования сотовой связью ОАО «Мегафон». Эта связь была основной при подготовке соревнований.

С началом соревнований основным средством связи становилась сеть TETRA. С помощью нее велся служебный обмен пользователей. Сеть связи ОАО «Мегафон» была резервной и ею пользовались за пределами объектов и для СМС оповещения со специально выделенного Оргкомитету портала.

Но все же основной разговорный трафик был пропущен сетью TETRA. Было запрограммировано 2800 разговорных групп. Во время Олимпийских игр было совершено 1438250 групповых вызовов, во время Паралимпийских игр —



348504. Во время Олимпийских Игр среднее количество вызовов в сутки составляло 84600, а максимальное — 115000. Максимальная нагрузка на одну БС 17931 вызовов в сутки [3].

Оборудование сети TETRA имело уникальное по возможностям окончное оборудование. Радиообмен велся по разговорным группам. При вызове старшей станции все абоненты оставались на приеме и слушали распоряжение старшей станции. При ответе абонента сети он переходил в радионаправление и отвечал старшей станции. Разговорные группы формировались в зависимости от потребностей функций. Функция Спорт, например, имела 10 разговорных групп, функция Медицины — 3. При этом все функции для взаимодействия между собой имели 1-ю и 2-ю разговорные группы [3].

В настоящее время основными пользователями систем стандарта TETRA являются спортивные организации, транспортный сектор, государственные учреждения, силовые ведомства, аэропорты и производственный сектор.

Подобные сети связи используются в вооруженных силах иностранных государств. Имеются источники, свидетельствующие о том, что в МО США в настоящее время пересматривается концепция построения мобильной системы связи общего пользования армейского корпуса (MSE — Mobile Subscriber Equipment) на основе применения trunking-технологии.

Командование сухопутных войск Италии в начале 90-х годов приняло решение о создании мобильной автоматизированной системы связи «Сотрин», обеспечивающей управление частями и подразделениями оперативно-тактического звена («армейский корпус — дивизия — бригада»). Система связи «Сотрин» позволяет обслуживать до 3000 мобильных и стационарных абонентов, размещенных на площади 150×250 км.

Таким образом, опыт многократного резервирования сетей и средств радиосвязи для устойчивого управления при проведении масштабных мероприятий является уникальным и может быть актуальным при проведении крупных мероприятий и операций.

ЛИТЕРАТУРА

1. Проектная документация по объекту «Сеть радиосвязи стандарта «TETRA», включая абонентское оборудование (проектные и изыскательские работы, строительство)». Раздел 1. Пояснительная записка. 012109–01–ПЗ Том 1 ЗАО «РадиоТел» 2009.

2. Руководящий документ отрасли. Оборудование

транкинговых систем подвижной радиосвязи стандарта TETRA. Общие технические требования. РД 45.226–2001. Минсвязи России. 2002.

3. Презентация «Применение сети стандарта TETRA на Олимпийских и Паралимпийских играх». Оргкомитет Сочи — 2014.

А. А. Ардашов

кандидат технических наук, старший научный сотрудник

В. Н. Арсеньев

доктор технических наук, профессор

С. Б. Силантьев

кандидат технических наук, доцент

М. А. Зайцев

ОЦЕНИВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ТОЧНОСТИ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ СРЕДСТВ ВЫВЕДЕНИЯ ПО НЕОДНОРОДНЫМ СТАТИСТИЧЕСКИМ ДАННЫМ

Рассматривается задача оценивания характеристик точности систем управления перспективных средств выведения по результатам испытаний опытных образцов в различных условиях. Получено более точное решение задачи приведения результатов испытаний к единым условиям, что позволило повысить качество оценивания характеристик системы управления.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: средства выведения, система управления, характеристики точности, опытные образцы, условия испытаний, неоднородная статистическая информация.

Введение

Заключительным этапом процесса создания систем управления (СУ) перспективных средств выведения (СВ) являются натурные испытания опытных образцов. В процессе их проведения ведутся доработки СУ, корректируются алгоритмы управления, могут изменяться граничные условия, полезные нагрузки и т. д. [1–8]. Вследствие этих причин получаемые данные о характеристиках СУ являются неоднородными [9–13]. Одним из путей устранения неоднородности является приведение результатов испытаний отдельных образцов к некоторым заранее заданным условиям испытаний [2, 8–10]. Качество оценок характеристик СУ, получаемых по объединенной таким образом выборке, существенно зависит от точности используемых операторов приведения. Целью работы является повышение точности определения операторов приведения по сравнению с известными методами решения этой задачи [8–10].

Постановка задачи

Пусть точность СУ характеризуется n — мерным вектором $\Delta \hat{\mathbf{X}}$ случайных вариаций фазовых координат СУ относительно расчетного значения в конечной точке траектории движения СВ. Значок « $\hat{}$ » используется для отличия случайной величины от детерминированной.

Полагается [4], что распределение вектора $\Delta \hat{\mathbf{X}}$ является многомерным нормальным $N(\mathbf{M}_{\Delta \hat{\mathbf{X}}}, \mathbf{K}_{\Delta \hat{\mathbf{X}}})$ с математическим ожиданием $\mathbf{M}_{\Delta \hat{\mathbf{X}}}$ и ковариационной матрицей $\mathbf{K}_{\Delta \hat{\mathbf{X}}}$. Величины $\mathbf{M}_{\Delta \hat{\mathbf{X}}}$ и $\mathbf{K}_{\Delta \hat{\mathbf{X}}}$ определяют область рассеивания фазовых координат СУ относительно расчетной точки и называются точностными характеристиками (характеристиками точности) СУ. Они зависят от условий испытаний опытных образцов, которые, как уже отмечалось выше, могут отличаться граничными значениями, полезными нагрузками, значениями параметров СУ и т. д.

Пусть в некоторых первых условиях испытано i_1 опытных образцов, а во вторых, отличных от первых, i_2 . Результаты испытаний представлены соответственно множествами $\Delta \mathbf{X}_{1j}$, $j = \overline{1, i_1}$, и $\Delta \mathbf{X}_{2j}$, $j = \overline{1, i_2}$, значений векторов $\Delta \hat{\mathbf{X}}_1$ и $\Delta \hat{\mathbf{X}}_2$ вариаций фазовых координат СУ в конечных точках траекторий движения испытываемых образцов СВ.

Необходимо получить оценки M_{12} и K_{12} математического ожидания $M_{\Delta \hat{\mathbf{X}}}$ и ковариационной матрицы $K_{\Delta \hat{\mathbf{X}}}$, характеризующих точность СУ в первых условиях, по результатам испытаний опытных образцов первых и вторых условиях испытаний.

Определение оператора приведения

Полагается, что в первых и вторых условиях испытаний векторы $\Delta \hat{\mathbf{X}}_1$ и $\Delta \hat{\mathbf{X}}_2$ связаны линейной зависимостью:

$$\Delta \hat{\mathbf{X}}_1 = P_{12} \Delta \hat{\mathbf{X}}_2, \tag{1}$$

где P_{12} — матрица размерности $n \times n$, которая в дальнейшем называется оператором приведения результатов испытаний опытных образцов в условиях 2 к условиям 1.

В силу (1) матрица P_{12} должна удовлетворять двум уравнениям

$$M_{\Delta \hat{\mathbf{X}}_1} = P_{12} M_{\Delta \hat{\mathbf{X}}_2}; \tag{2}$$

$$K_{\Delta \hat{\mathbf{X}}_1} = P_{12} K_{\Delta \hat{\mathbf{X}}_2} P_{12}^T. \tag{3}$$

Оценки параметров $M_{\Delta \hat{\mathbf{X}}_1}$, $M_{\Delta \hat{\mathbf{X}}_2}$, $K_{\Delta \hat{\mathbf{X}}_1}$ и $K_{\Delta \hat{\mathbf{X}}_2}$ могут быть получены путем многократных статистических испытаний модели СУ. Поскольку число испытаний может быть сколь угодно большим, то оценки обозначаются также как сами параметры.

Задача определения оператора приведения P_{12} сводится к совместному решению линейного векторного уравнения (2) и нелинейного матричного уравнения (3). В качестве показателей точности полученного решения используются величины

$$\delta_M = \frac{\|M_{\Delta \hat{\mathbf{X}}_1} - P_{12} M_{\Delta \hat{\mathbf{X}}_2}\|}{\|M_{\Delta \hat{\mathbf{X}}_1}\|} 100\%$$

и

$$\delta_K = \frac{\|K_{\Delta \hat{\mathbf{X}}_1} - P_{12} K_{\Delta \hat{\mathbf{X}}_2} P_{12}^T\|}{\|K_{\Delta \hat{\mathbf{X}}_1}\|} 100\%.$$

Можно показать [4], что система уравнений (2), (3) приводится к виду

$$\mu_1 = Q \mu_2; \tag{4}$$

$$Q Q^T = I, \tag{5}$$

где $\mu_i = D_i^{-1/2} S_i^T M_{\Delta \hat{\mathbf{X}}_i}$; $Q = D_1^{-1/2} S_1^T P_{12} S_2 D_2^{1/2}$; $S_i D_i S_i^T = K_{\Delta \hat{\mathbf{X}}_i}$; S_i и D_i — ортогональная и диагональная матрицы, состоящие из собственных векторов и собственных значений матрицы $K_{\Delta \hat{\mathbf{X}}_i}$ соответственно; $i = 1, 2$.

В общем случае точного решения системы уравнений (2), (3) (и соответствующей системы уравнений (4), (5)) может не существовать. Это может иметь место, когда реальная зависимость между векторами $\Delta \hat{\mathbf{X}}_1$ и $\Delta \hat{\mathbf{X}}_2$ отличается от линейной (1). В связи с этим предлагается следующий метод приближенного решения системы уравнений (2), (3).

Из (4) видно, что существует бесчисленное множество матриц Q , удовлетворяющих этому уравнению.

Пусть Q_0 любая матрица, той же размерности, что и Q . Тогда общее решение уравнения (4) можно найти, минимизируя функционал $J = tr [(Q_0 - Q)(Q_0 - Q)^T]$ при условии $\mu_1 = Q \mu_2$, где $tr[\cdot]$ — функция определения следа матрицы.

Решение этой задача, полученное методом неопределенных множителей Лагранжа, имеет вид

$$Q = Q_0 \left(I - \frac{1}{\mu_2^T \mu_2} \mu_2 \mu_2^T \right) + \frac{1}{\mu_2^T \mu_2} \mu_1 \mu_2^T. \tag{6}$$

Легко проверить, что при любой матрице Q_0 выполняется уравнение (4). В частном случае можно взять в качестве Q_0 единичную матрицу I .

Матрица (6) подставляется в уравнение (5). Очевидно, что в общем случае она не обращает это уравнение в тождество. Однако, путем поочередного изменения элементов матрицы Q_0 с небольшим шагом (0.001÷0.01) в сторону

уменьшения величины δ_K можно получить достаточно точное с точки зрения показателей δ_M и δ_K решение поставленной задачи.

При этом любая полученная таким образом матрица \mathbf{Q} обеспечивает строгое выполнение условия (4), а соответствующая ей матрица

$$\mathbf{P}_{12} = \mathbf{S}_1 \mathbf{D}_1^{1/2} \mathbf{Q} \mathbf{D}_2^{-1/2} \mathbf{S}_2^T \quad (7)$$

является решением уравнения (2).

Оценивание характеристик точности СУ

Результаты испытаний опытных образцов во вторых условиях, приведенные к первым условиям испытаний, $\mathbf{P}_{12} \Delta \mathbf{X}_{2j}$, $j = \overline{1, i_2}$, и результаты испытаний опытных образцов в первых условиях $\Delta \mathbf{X}_{1j}$, $j = \overline{1, i_1}$, рассматриваются как выборка из одной генеральной совокупности с законом распределения $N(\mathbf{M}_{\Delta \mathbf{X}_1}^{\wedge}, \mathbf{K}_{\Delta \mathbf{X}_1}^{\wedge})$. Тогда оценки \mathbf{M}_{12} и \mathbf{K}_{12} математического ожидания $\mathbf{M}_{\Delta \mathbf{X}_1}^{\wedge}$ и ковариационной матрицы $\mathbf{K}_{\Delta \mathbf{X}_1}^{\wedge}$, характеризующие точность СУ в первых условиях испытаний и учитывающие результаты испытаний в первых и вторых условиях, определяются по формулам

$$\begin{aligned} \mathbf{M}_{12} &= \frac{1}{i_1 + i_2} \left(\sum_{j=1}^{i_1} \Delta \mathbf{X}_{1j} + \mathbf{P}_{12} \sum_{j=1}^{i_2} \Delta \mathbf{X}_{2j} \right) = \\ &= \frac{1}{i_1 + i_2} \left(i_1 \tilde{\mathbf{M}}_{\Delta \mathbf{X}_1}^{\wedge} + i_2 \mathbf{P}_{12} \tilde{\mathbf{M}}_{\Delta \mathbf{X}_2}^{\wedge} \right); \quad (8) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mathbf{K}_{12} &= \frac{1}{i_1 + i_2 - 2} \times \\ &\times \left\{ \sum_{j=1}^{i_1} \left(\Delta \mathbf{X}_{1j} - \tilde{\mathbf{M}}_{\Delta \mathbf{X}_1}^{\wedge} \right) \left(\Delta \mathbf{X}_{1j} - \tilde{\mathbf{M}}_{\Delta \mathbf{X}_1}^{\wedge} \right)^T + \right. \\ &\left. + \mathbf{P}_{12} \left[\sum_{j=1}^{i_2} \left(\Delta \mathbf{X}_{2j} - \tilde{\mathbf{M}}_{\Delta \mathbf{X}_2}^{\wedge} \right) \left(\Delta \mathbf{X}_{2j} - \tilde{\mathbf{M}}_{\Delta \mathbf{X}_2}^{\wedge} \right)^T \right] \mathbf{P}_{12}^T \right\}, \quad (9) \end{aligned}$$

где $\tilde{\mathbf{M}}_{\Delta \mathbf{X}_1}^{\wedge} = \frac{1}{i_1} \sum_{j=1}^{i_1} \Delta \mathbf{X}_{1j}$; $\tilde{\mathbf{M}}_{\Delta \mathbf{X}_2}^{\wedge} = \frac{1}{i_2} \sum_{j=1}^{i_2} \Delta \mathbf{X}_{2j}$.

Можно показать, что дисперсии элементов оценок \mathbf{M}_{12} и \mathbf{K}_{12} меньше дисперсий соответствующих элементов оценок, полученных только по результатам испытаний опытных образцов в первых условиях.

Пример

В качестве исследуемого объекта рассматривается ракета-носитель (РН), предназначенная для выведения космических аппаратов (КА) на две различные орбиты. Условия пусков РН отличаются координатами точки выведения. Трехмерный вектор $\Delta \mathbf{X}$ состоит из отклонений фазовых координат РН от расчетных значений в конечных точках траекторий выведения. Отклонения измеряются в метрах.

Априорные оценки характеристик точности СУ РН и другие исходные данные заимствованы из [10]:

$$\mathbf{M}_{\Delta \mathbf{X}_1}^{\wedge} = [25 \ 6 \ 37]^T; \quad \mathbf{M}_{\Delta \mathbf{X}_2}^{\wedge} = [24 \ 8 \ 12]^T;$$

$$\mathbf{K}_{\Delta \mathbf{X}_1}^{\wedge} = \begin{bmatrix} 814081 & 561 & 1403298 \\ 561 & 1497 & 1031 \\ 1403298 & 1031 & 2428612 \end{bmatrix};$$

$$\mathbf{K}_{\Delta \mathbf{X}_2}^{\wedge} = \begin{bmatrix} 776354 & 548556 & 547578 \\ 548556 & 388292 & 387339 \\ 547578 & 387339 & 387377 \end{bmatrix}.$$

Соответствующий этим данным оператор приведения, полученный по формуле (7), имеет вид

$$\mathbf{P}_{12} = \begin{bmatrix} 1.22 & 0.23 & -0.51 \\ 0.38 & -0.83 & 0.30 \\ 0.62 & -0.65 & 2.27 \end{bmatrix}.$$

Величины, характеризующие точность данного решения, $\delta_M = 0$, а $\delta_K = 0.04 \%$. Для сравнения оператор приведения, найденный путем решения уравнения (3) (в соответствии с [8]), дает $\delta_M = 43 \%$ и $\delta_K = 0$, а в соответствии с [9] — $\delta_M = 18 \%$ и $\delta_K = 0.06 \%$.

Поскольку реальные пуски РН не проводились, то необходимые статистические данные были получены путем испытаний модели СУ, приведенной в [10]. В первых условиях испытаний проведено 6 модельных пусков, результаты которых

$$\begin{aligned} \Delta \mathbf{X}_{11} &= [-1276 \ -56 \ -2290]^T; \\ \Delta \mathbf{X}_{12} &= [26 \ -24 \ 51]^T; \\ \Delta \mathbf{X}_{13} &= [1427 \ 36 \ 2456]^T; \\ \Delta \mathbf{X}_{14} &= [-729 \ 11 \ -1332]^T; \\ \Delta \mathbf{X}_{15} &= [684 \ 17 \ 1184]^T; \\ \Delta \mathbf{X}_{16} &= [54 \ 39 \ 189]^T, \end{aligned}$$

а во вторых — 8 пусков с результатами:

$$\Delta X_{21} = [-1257 - 933 - 910]^T;$$

$$\Delta X_{22} = [32 \ 10 \ 29]^T;$$

$$\Delta X_{23} = [1388 \ 999 \ 974]^T;$$

$$\Delta X_{24} = [-730 - 521 - 540]^T;$$

$$\Delta X_{25} = [667 \ 482 \ 471]^T;$$

$$\Delta X_{26} = [70 \ 88 \ 81]^T;$$

$$\Delta X_{27} = [-446 - 308 - 316]^T;$$

$$\Delta X_{28} = [429 \ 258 \ 289]^T.$$

По этим данным рассчитаны оценки $\tilde{M}_{\Delta X_1}^{\wedge} = [31 \ 4 \ 43]^T$; $\tilde{M}_{\Delta X_2}^{\wedge} = [19 \ 9 \ 9]^T$ математических ожиданий $M_{\Delta X_1}^{\wedge}$ и $M_{\Delta X_2}^{\wedge}$ соответственно.

Тогда оценки M_{12} и K_{12} характеристик точности выведения РН в первых условиях пусков, учитывающие результаты пусков РН в первых и вторых условиях, в соответствии с формулами (8), (9) примут вид:

$$M_{12} = [26 \ 3 \ 34]^T;$$

$$K_{12} = \begin{bmatrix} 810956 & 6662 & 1419402 \\ 6662 & 820 & 12178 \\ 1419402 & 12178 & 2486901 \end{bmatrix}.$$

Очевидно, что дисперсии элементов оценок M_{12} и K_{12} , учитывающих результаты 14 пусков РН в первых и вторых условиях, будут меньше дисперсий соответствующих элементов оценок $\tilde{M}_{\Delta X_1}^{\wedge}$ и $\tilde{K}_{\Delta X_1}^{\wedge}$, полученных только по результатам 6 пусков РН в первых условиях.

Заключение

Приведение разнородных опытных данных к единым условиям испытаний позволяет повысить качество оценок характеристик точности СУ. Результат решения этой задачи существенно зависит от ошибок определения оператора приведения. Предложенный в данной статье подход, как показали многочисленные исследования, во всех случаях обеспечивает нулевую ошибку δ_M и, как правило, малое значение ошибки δ_K . Он может быть использован при решении ряда смежных задач. Так результаты испытаний опытных образцов в первых условиях, наоборот, могут быть пересчитаны на вторые. Или же, в более общем случае, все испытания в первых и вторых условиях могут быть использованы для повышения качества оценивания характеристик точности СУ в некоторых, отличных от первых двух, третьих условиях испытаний. Возможны и другие, достаточно очевидные постановки задач, связанных с обработкой неоднородной статистической информации.

СПИСОК ИСПОЛЪЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Поляков А. П. и др. Справочник по эксплуатации космических средств / Под ред. А. П. Полякова. — 2-е изд. перер. и доп. — СПб.: ВКА им. А. Ф. Можайского. — 2006. — 758 с.

2. Миронов В. И. Эффективность, надежность и испытания систем управления: учеб. пособие. — МО СССР, 1981. — 200 с.

3. Элементы теории испытаний и контроля технических систем / Под ред. Р. М. Юсупова. — Л.: Энергия, 1978. — 192 с.

4. Эльясберг П. Е. Определение движения по результатам измерений. — М.: Наука, 1976. — 415 с.

5. Буренок В. М., Найденов В. М. Испытательная база: выход из кризиса // Воздушно-космическая обора. — 2009. — № 1 (44). — С. 18–25.

6. Шаракшанэ А. С., Халецкий А. К., Морозов И. А. Оценка характеристик сложных автоматизированных систем. — М.: Машиностроение, 1993. — 272 с.

7. Кринецкий Е. И., Александровская Л. Н., Шаронов А. В., Голубков А. С. Летные испытания ракет и космических аппаратов. — М.: Машиностроение, 1979. — 464 с.

8. Миронов В. И. Задача приведения вариаций фазовых координат нелинейных динамических систем к заданным условиям испытаний // Изв. АН СССР. Техн. кибернетика. — 1970. — № 3. — С. 31–38.

9. Арсеньев В. Н. Определение характеристик точности системы по результатам ее испытаний в различных условиях испытаний // Изв. АН РФ. Техн. кибернетика. — 1992. № 2. — С. 118–121.

10. Арсеньев В. Н. Оценивание характеристик точности системы управления ракеты-носителя по результатам пусков в различных условиях // Изв. вузов. Приборостроение. — 2015. № 1. — С. 27–32.

11. Половко А. М., Гулов С. В. Основы теории надежности. — 2-е изд., перераб. и доп. — СПб.: БХВ-Петербург, 2006. — 704 с.

12. Вентцель Е. С. Теория вероятностей: Учебник для студ. вузов, 9-е издание. М.: Издательский центр «Академия», 2003. — 576 с.

13. Пугачев В. С. Теория вероятностей и математическая статистика. — М.: Физматлит, 2002. — 496 с.

В. И. Бобровский

доктор технических наук, доцент
ПАО «Информационные телекоммуникационные технологии»

С. С. Латыпова

ФГАОУ ВО «СПбПУ»

А. К. Скворцов

ПАО «Информационные телекоммуникационные технологии»

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ OFDM МОДЕМОВ НА ОСНОВЕ МОДИФИКАЦИИ СИГНАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПОДНЕСУЩИХ ГРУППОВОГО СИГНАЛА

АННОТАЦИЯ. В работе представлен способ повышения эффективности OFDM модемов на основе модификации сигнальных конструкций поднесущих группового сигнала, каждая из которых имеет шестнадцать позиционную квадратурную амплитудную манипуляцию (КАМ-16). В статье показано, что повышение эффективности поднесущих с КАМ-16 осуществляется на основе максимизации минимального евклидова расстояния между сигнальной конструкции (СК) [1, 2]. Приведены точные формулы вероятности ошибки на бит и представлен сравнительный анализ потенциальной помехоустойчивости традиционных «квадратной» СККАМ-16 и оптимизированной по критерию максимума минимального евклидова расстояния СК — «круглой» КАМ-16 в натуральном манипуляционном коде (МК) и МК Грея. В работе показано, что оптимизация СК КАМ-16 способствует повышению потенциальной помехоустойчивости ее приема и позволяет снизить требования к отношению сигнал/шум более чем на 1 дБ.

Способ построения СК «круглой» КАМ

На рис. 1 показано исходное расположение сигнальных точек, соответствующее традиционному способу формирования сигнальной конструкции квадратурной амплитудной манипуляции и их смещение при применении способа формирования «круглой» КАМ-16 [1, 2].

Предложенный способ оптимизации СК КАМ-16 не связан с применяемым МК. На рис. 1 в качестве примера представлен МК Грея, при котором двоичный код соседних сигнальных точек отличается в одном бите. Порядок следования битов слева направо соответствует номерам информационных битов, манипулирующих синфазную $\bar{u}_{исх}^{-1}$ и квадратурную $\bar{u}_{исх}^{-0}$ составляющие, т. е. первый бит слева является первым информационным битом, второй — вторым информационным битом и т. д. Точками на рис. 1 показаны положения сигнальных точек исходной КАМ конструкции. Пунктирными окружностями на рис. 1 обозначены положения сиг-

нальных точек оптимизированной (далее «круглой») КАМ-16. Стрелочками с треугольными указателями показываются направления перемещения сигнальных точек традиционной КАМ-16 в сигнальную конструкцию «круглой» КАМ-16. Стрелочками с заостренными указателями обозначены вектора сигнальных точек. Начало и конец каждого такого вектора обозначены большими латинскими буквами.

На рисунке рис. 2 показана СК «круглой» КАМ-16 в МК Грея, полученная в результате оптимизации по критерию максимума минимального евклидова расстояния между сигнальными точками. Положения сигнальных точек определяется манипуляцией векторов $\bar{u}_a = a\bar{u}_{исх}^{-1}$, $\bar{u}_b = b\bar{u}_{исх}^{-1}$, $\bar{u}_c = c\bar{u}_{исх}^{-1}$. На рис. 2 если данные вектора откладываются на синфазной оси, то они обозначаются \bar{u}_a^{-1} , \bar{u}_b^{-1} и \bar{u}_c^{-1} . Если на квадратурной оси — то \bar{u}_a^{-0} , \bar{u}_b^{-0} и \bar{u}_c^{-0} .

Значения коэффициентов a , b и c определяются в пределах, выбираемых при выполнении

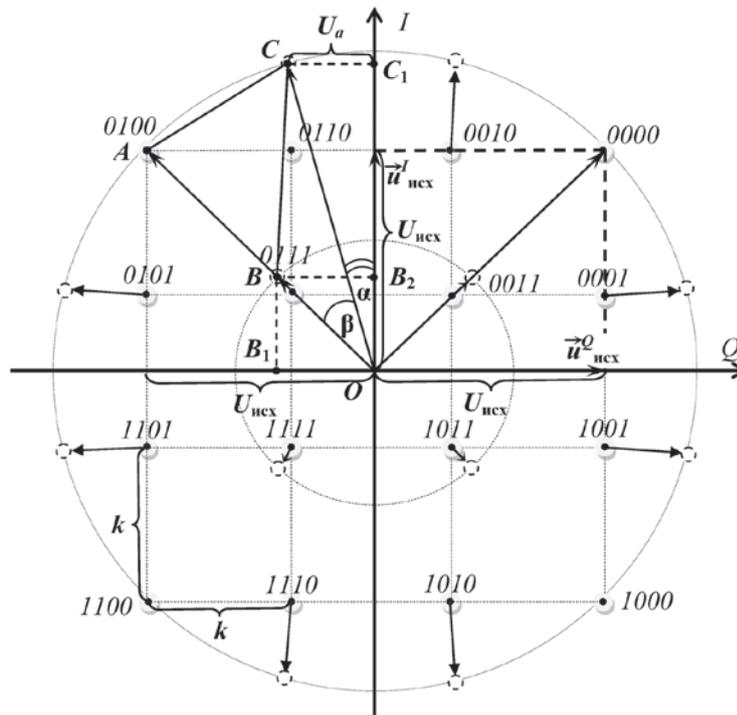


Рис. 1. Исходное расположение сигнальных точек, соответствующее известному способу формирования сигнальной конструкции квадратурной амплитудной манипуляции и их смещение при применении предлагаемого способа

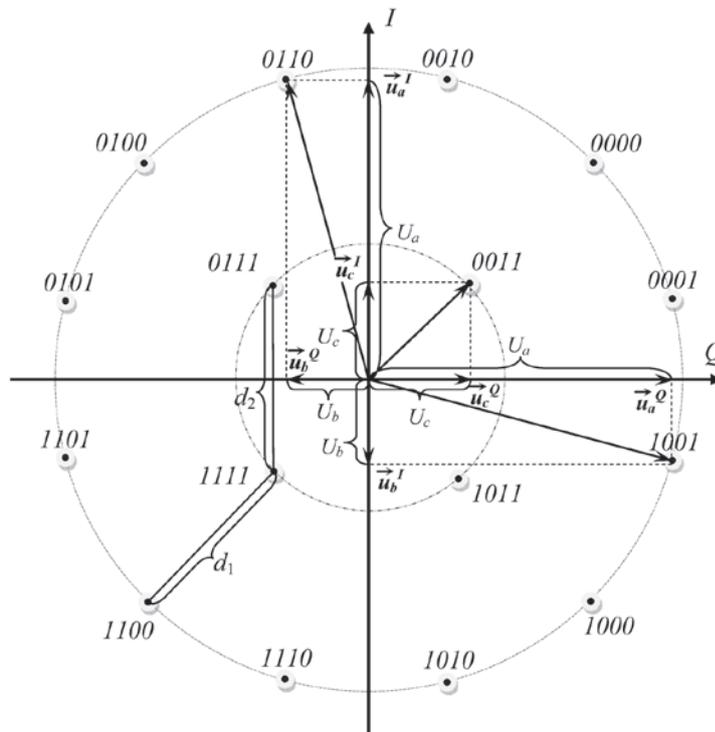


Рис. 2. Сигнальная конструкция «круглой» КАМ-16 (оптимизированная по критерию максимума минимального евклидова расстояния между сигнальными точками)

критерия максимума минимального евклидового расстояния между сигнальными точками [1, 2]:

$$a \geq 1; b \geq \frac{1}{3}; \frac{1}{3} \leq c \leq \frac{3-\sqrt{2}}{3}, \text{ причем выбранные значения данных коэффициентов должны удовлетворять одновременно условиям: } (a-1)^2 + (b-1)^2 \geq \frac{4}{9}; (a-c)^2 + (b-c)^2 \geq \frac{4}{9}; a^2 + b^2 \leq 2.$$

Коэффициенты a, b и c получены в [1]:

$$a = \sqrt{1 + \frac{3}{2}} \approx 1.36603; \tag{1}$$

$$c = \frac{1}{1 + \sqrt{2}} \approx 0,41421; \tag{2}$$

$$b = \sqrt{2 - a^2} = \sqrt{1 - \frac{\sqrt{3}}{2}} \approx 0.36603. \tag{3}$$

Потенциальная помехоустойчивость СК традиционной («квадратной») КАМ-16

Пусть $h_b^2 \triangleq \frac{E_M}{N_0}$ — отношение сигнал/шум,

числено равное отношению максимальной энергии СК КАМ-16 к односторонней спектральной плотности белого шума, а прием осуществляется по критерию минимум вероятности ошибки на групповой символ ($\min P_e$). Тогда в канале с постоянными параметрами и белым шумом вероятность ошибки на бит традиционной КАМ-16 в натуральном МК можно представить формулами (4) [3].

$$P_{\text{тpн}}[ou] = \frac{1}{2} (P_{\text{тpн1}}[ou] + P_{\text{тpн3}}[ou]), \tag{4a}$$

$$P_{\text{тpн1}}[ou] = \frac{1}{2} \left(Fc \left(\frac{1}{3} \sqrt{h_b^2} \right) + Fc \left(\sqrt{h_b^2} \right) \right), \tag{4б}$$

$$P_{\text{тpн3}}[ou] =$$

$$= \frac{1}{2} \left(Fc \left(\frac{5}{3} \sqrt{h_b^2} \right) + 3Fc \left(\frac{1}{3} \sqrt{h_b^2} \right) - 2Fc \left(\sqrt{h_b^2} \right) \right), \tag{4в}$$

где $P_{\text{тpн1}}[ou]$ и $P_{\text{тpн3}}[ou]$ — вероятности ошибок соответственно первого и третьего битов в СК КАМ-16 при натуральном МК*;

* В виду симметрии СК КАМ-16 при натуральном МК вероятности ошибок первого и третьего битов соответственно равны вероятностям ошибок второго и четвертого битов.

$$Fc(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^\infty e^{-\frac{t^2}{2}} dt \text{ — дополнение интеграла Лапласа до единицы.}$$

Вероятность ошибки на бит традиционной КАМ-16 в МК Грея определяется формулами (5) [3].

$$P_{\text{тpГ}}[ou] = \frac{1}{2} (P_{\text{тpГр1}}[ou] + P_{\text{тpГр3}}[ou]), \tag{5a}$$

$$P_{\text{тpГр1}}[ou] = \frac{1}{2} \left(Fc \left(\frac{1}{3} \sqrt{h_b^2} \right) + Fc \left(\sqrt{h_b^2} \right) \right), \tag{5б}$$

$$P_{\text{тpГр3}}[ou] =$$

$$= \frac{1}{2} (P_{\text{тpГр3}}[ou / r_3 = 0] + P_{\text{тpГр3}}[ou / r_3 = 1]), \tag{5в}$$

$$P_{\text{тpГр3}}[ou / r_3 = 0] =$$

$$= Fc \left(\frac{1}{3} \sqrt{h_b^2} \right) - Fc \left(\frac{5}{3} \sqrt{h_b^2} \right), \tag{5г}$$

$$P_{\text{тpГр3}}[ou / r_3 = 1] = Fc \left(\sqrt{h_b^2} \right) + Fc \left(\frac{1}{3} \sqrt{h_b^2} \right), \tag{5д}$$

где $P_{\text{тpГ1}}[ou]$ и $P_{\text{тpГ3}}[ou]$ — вероятности ошибок соответственно первого и третьего битов в СК КАМ-16 при МК Грея**;

$P_{\text{тpГ3}}[ou / r_3 = 0]$ и $P_{\text{тpГ3}}[ou / r_3 = 1]$ — вероятности ошибок третьего бита в СК КАМ-16 при условии, что передавались соответственно $r_3 = 0$ и $r_3 = 1$.

Графики вероятности ошибки на бит при натуральном МК и МК Грея в зависимости от максимального отношения сигнал/шум h_b^2 представлены на рис. 3.

Как видно из (4б) и (5б) и графиков на рис. 3, вероятности ошибок первого (второго) битов совпадают. Вероятность ошибки третьего (четвертого) битов при натуральном МК больше, чем при МК Грея.

Потенциальная помехоустойчивость СК «круглой» КАМ-16

Прием СК КАМ-16 повышенной помехоустойчивости предусматривает компенсационные алгоритмы, в соответствии с которыми правило оценивания двоичных символов записывается в виде [4]:

** В виду симметрии СК КАМ-16 при МК Грея вероятности ошибок первого и третьего битов соответственно равны вероятностям ошибок второго и четвертого битов.

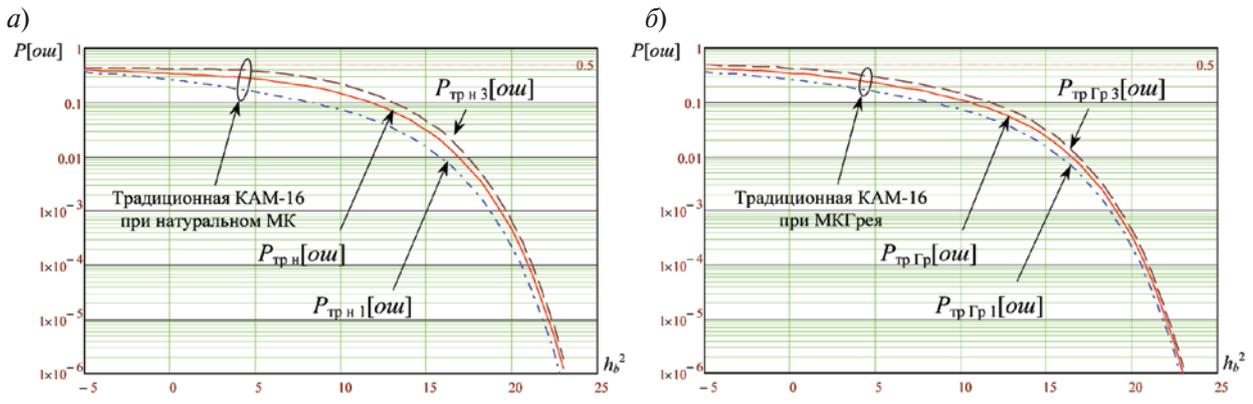


Рис. 3. Графики вероятности ошибки на бит в зависимости от максимального отношения сигнал/шум h_b^2 : а — при натуральном МК; б — при МК Грея

$$\mathbf{r}^* = \text{rect} \{ \mathbf{y} - \mathbf{g} \}, \quad (6)$$

где

$$\text{rect}(x) = \begin{cases} 1, & x \geq 0 \\ 0, & x < 0 \end{cases} -$$

функция принятия решения, (7)

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

$\mathbf{g} \triangleq (g_1, g_2, \dots, g_K)^T, g_i \triangleq g_i(\mathbf{y}) = g_i(y_1, y_2, \dots, y_K)^*$ — вектор оптимальных границ областей принятия решений (ГОПР); $\mathbf{y} \triangleq (y_1, y_2, \dots, y_K)^T$ — вектор откликов корреляторов (вектор наблюдений), где $y_i \triangleq \hat{y}_i(\mathbf{y}, \hat{\mathbf{s}}_i); \hat{\mathbf{s}}_i = (\sqrt{E_i})^{-1} \mathbf{s}_i, i = 1..K$ — нормированный i -й двоичный цифровой сигнал.

Как следует из формального представления в компенсационном виде алгоритма, основной задачей является формирование вектора ГОПР \mathbf{g} [4].

На рис. 4 представлены ГОПР третьего и четвертого битов СК КАМ-16 при МК Грея. Очевидно, что границы, разделяющие области принятия решения по первому и второму битам, лежат на осях, соответствующих синфазной $\vec{u}_{исх}^{-I}$ и квадратурной $\vec{u}_{исх}^{-Q}$ составляющим (см. рис. 4). Границы, разделяющие области принятия решения по третьему и четвертому битам, как видно из рис. 4, представляют собой линейно-ломаные линии.

*В случае отсутствия необходимости конкретизации числа детектируемых сигналов будем употреблять обозначение ГОИП, а также вектора откликов корреляторов без верхнего индекса: g_i, y_i .

Групповой сигнал СК КАМ-16 представим в виде:

$$s_{\Sigma}(r, t) = m_Q(r) \sqrt{E} \cdot s_Q(t) + m_I(r) \sqrt{E} \cdot s_I(t), \quad (8)$$

где $r \triangleq (r_1, r_2, r_3, r_4)$ — групповой символ; $s_Q(t)$ и $s_I(t)$ — исходные, не манипулированные синфазная и квадратурная составляющие группового сигнала СК КАМ-16; E — энергия синфазной (или квадратурной) составляющей группового сигнала при передаче $r = (r_1 = 0, r_2 = 0, r_3 = 0, r_4 = 0)$; $m_Q(t)$ и $m_I(t)$ — манипуляционные коэффициенты соответственно синфазной и квадратурной составляющих;

Учитывая симметричное расположение сигнальных точек СК КАМ-16 при натуральном МК, вероятность ошибки первого бита равна вероятности ошибки второго бита, а вероятность ошибки третьего бита равна вероятности ошибки четвертого бита. Тогда справедлива запись:

$$P_{кН}[оиш] = \frac{1}{2} (P_{кН1}[оиш] + P_{кН3}[оиш]), \quad (9)$$

где $P_{кН1}[оиш]$ и $P_{кН3}[оиш]$ — вероятности ошибок соответственно первого и третьего битов в СК КАМ-16 при натуральном МК.

Учитывая симметрию СК КАМ-16 при натуральном МК, при расчете вероятности ошибки достаточно ограничиться четырьмя точками, лежащими в одном из квадрантов двумерной системы координат. Без ограничения общности при расчете вероятности ошибки первого бита выберем точки, соответствующие информационным параметрам

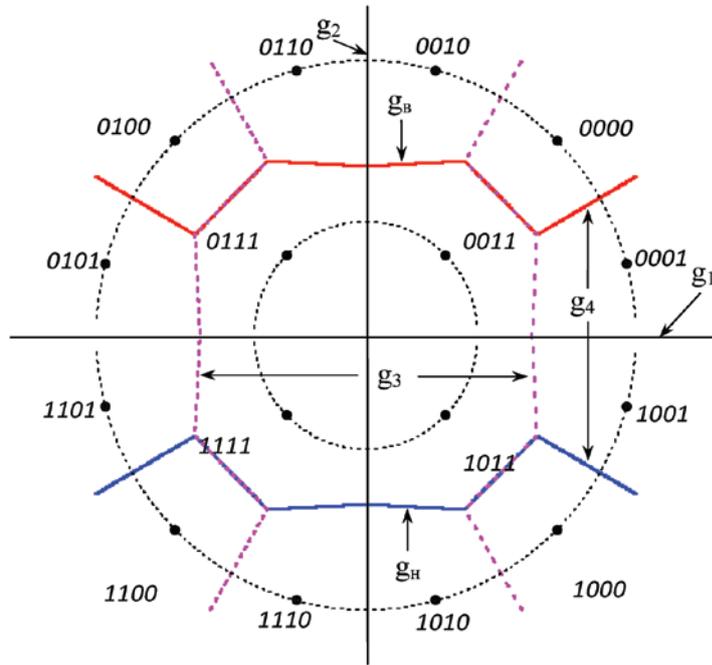


Рис. 4. Границы областей принятия решения «круглой» КАМ-16 (на примере СК с МК Грея)

где $r = (r_1 = 0, r_2 = 0, r_3, r_4)$,
 $r_3 = 0, 1$; $r_4 = 0, 1$. (10a)

А при расчете вероятности ошибки третьего бита выберем точки, соответствующие информационным параметрам

$r = (r_1, r_2 = 0, r_3 = 0, r_4)$,
 где $r_1 = 0, 1$; $r_4 = 0, 1$. (10б)

Учитывая (10a), в соответствии с (9), вероятность ошибки первого бита при натуральном МК определяется выражениями (11).

$$P_{кН1}[ou] = \frac{1}{4} \sum_{r_3=0}^1 \sum_{r_4=0}^1 Fc(m_I(r_3, r_4) \sqrt{h_b^2}), \quad (11a)$$

где $m_I(r_3, r_4) = (r_3 \oplus r_4)[a \cdot r_3 + b \cdot r_4] + (r_3 \oplus r_4 \oplus 1)[c \cdot r_3 + (r_3 \oplus 1)]$;
 $r_3 \oplus r_4$ — сложение информационных параметров r_3 и r_4 по модулю два; a, b и c определяют (1), (3) и (2) соответственно; $h_b^2 \triangleq \frac{E_M}{N_0}$ —

отношение сигнал/шум, численно равно отношению максимальной энергии СК КАМ-16 к односторонней спектральной плотности белого шума; $Fc(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^\infty e^{-t^2} dt$ — дополнение интеграла Лапласа до единицы. (11б)

Учитывая (10б), в соответствии с (9), вероятность ошибки третьего бита при натуральном МК определяется выражениями (12).

$$P_{кН3}[ou] = \frac{1}{4} \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \times \sum_{r_1=0}^1 \sum_{r_4=0}^1 \int_{-\infty}^{\frac{z^2}{2}} e^{-\frac{z^2}{2}} \left(\begin{array}{l} Fc(m_O(r_1, r_4) \sqrt{h_b^2} - g_H(z + m_I(r_1, r_4) \sqrt{h_b^2})) + \\ + Fc(m_O(r_1, r_4) \sqrt{h_b^2} - g_B(z + m_I(r_1, r_4) \sqrt{h_b^2})) - \\ - Fc(m_O(r_1, r_4) \sqrt{h_b^2}) \end{array} \right) dz, \quad (12a)$$

где $m_I(r_1, r_4) = (r_1 \oplus r_4)[a \cdot r_1 + b \cdot r_4] + (r_1 \oplus r_4 \oplus 1)[c \cdot r_1 + (r_1 \oplus 1)]$, (12б)

$$m_O(r_1, r_4) = (r_1 \oplus r_4)[a \cdot r_4 + b \cdot r_1] + (r_1 \oplus r_4 \oplus 1)[c \cdot r_1 + (r_1 \oplus 1)]. \quad (12в)$$

$g_H(z)$ и $g_B(z)$ — соответственно нижняя и верхняя ГОПР СК КАМ-16 в натуральном МК; $Fc(x)$ — определяется (11г).

На рис. 5 представлены графики вероятности ошибки на бит «круглой» КАМ-16 при натуральном МК в зависимости от максимального отношения сигнал/шум h_b^2 . Пунктирной и штрихпунктирной линиями показаны графики зависимости соответственно первого (второго) и третьего (четвертого) битов.

Для СК КАМ-16 в МК Грея также, как и при натуральном МК, имеет место симметричное расположение сигнальных точек. Поэтому вероятность ошибки первого бита равна вероятности ошибки второго бита, а вероятность ошибки третьего бита равна вероятности ошибки четвертого бита. Без снижения общности для выполнения расчетов выберем первый и четвертые биты:

$$P_{кГр}[ouw] = \frac{1}{2} (P_{кГр1}[ouw] + P_{кГр4}[ouw]) \quad (13)$$

где $P_{кГр1}[ouw]$ и $P_{кГр4}[ouw]$ — вероятности ошибок соответственно первого и четвертого битов в СК КАМ-16 при МК Грея.

Учитывая (13), вероятность ошибки первого бита определяется выражением

$$P_{кГр1}[ouw] = \frac{1}{4} \sum_{r_3=0}^1 \sum_{r_4=0}^1 Fc(m_I(r_3, r_4) \sqrt{h_b^2}), \quad (14)$$

где

$$m_I(r_3, r_4) = (r_3 \oplus r_4) [a \cdot r_3 + b \cdot r_4] +$$

$$+ (r_3 \oplus r_4 \oplus 1) [c \cdot r_3 + (r_3 \oplus 1)];$$

$r_3 \oplus r_4$ — сложение информационных параметров r_3 и r_4 по модулю два; a , b и c определяются (1), (3) и (2) соответственно; $h_b^2 \triangleq \frac{E_M}{N_0}$ — отношение сигнал/шум, численно равное отношению максимальной энергии СК КАМ-16 к односторонней спектральной плотности белого шума; $Fc(x)$ — определяется (116).

А при расчете вероятности ошибки третьего бита СК КАМ-16 в МК Грея выберем точки, соответствующие информационным параметрам

$$r = (r_1 = 0, r_2 = 0, r_3, r_4),$$

где

$$r_3 = 0, 1; \quad r_4 = 0, 1. \quad (15)$$

Вероятность ошибки четвертого бита при условии, что передавался $r_4 = 0$, исходя из особенностей расположения областей принятия решения, отличается от вероятности ошибки четвертого бита при условии, что передавался $r_4 = 1$. Поэтому при равных либо неизвестных априорных вероятностях передачи четвертого бита справедлива запись:

$$P_{кГр4}[ouw] = \frac{1}{2} (P_{кГр4}[ouw / r_4 = 0] + P_{кГр4}[ouw / r_4 = 1]) \quad (16)$$

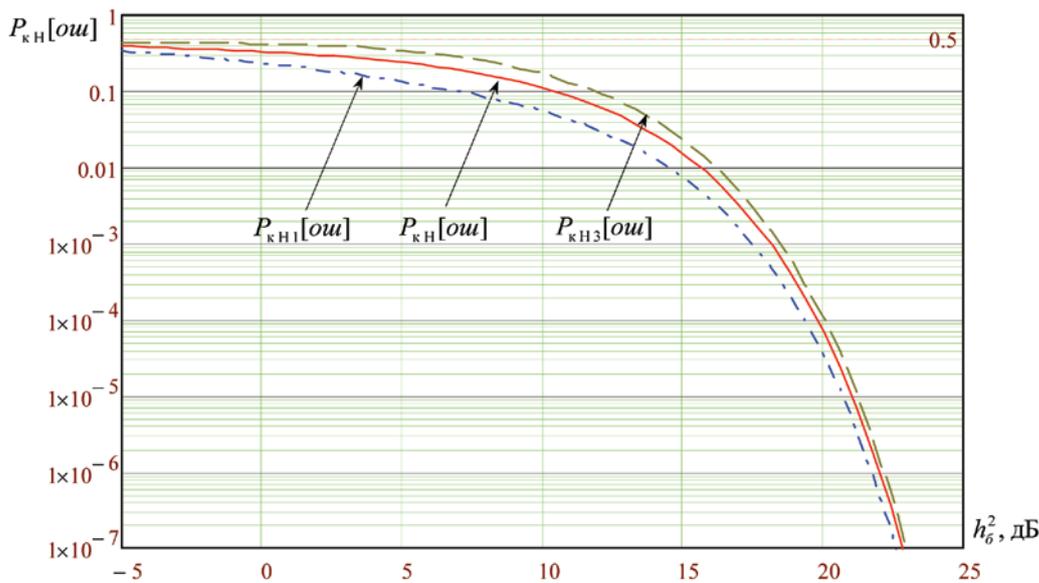


Рис. 5. Графики вероятности ошибки на бит «круглой» КАМ-16 при натуральном МК в зависимости от максимального отношения сигнал/шум h_b^2

Учитывая (15), условные вероятности ошибок четвертого бита при $r_4 = 0$ и $r_4 = 1$ определяются соответственно выражениями (17) и (18).

$$P_{кГр4}[ош / r_4 = 0] = \frac{1}{2} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \times \int_{r_3=0}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-\frac{z^2}{2}} \left(Fc\left(m_I(r_3)\sqrt{h_b^2} - g_B(z+m_Q(r_3)\sqrt{h_b^2})\right) - Fc\left(m_I(r_3)\sqrt{h_b^2} - g_H(z+m_Q(r_3)\sqrt{h_b^2})\right) \right) dz, \quad (17)$$

где

$$m_I(r_3) = a^{r_3} r_3 + (r_3 \oplus 1),$$

$$m_Q(r_3) = b^{r_3} r_3 + (r_3 \oplus 1).$$

$$P_{кГр4}[ош / r_4 = 1] = \frac{1}{2} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \times$$

$$\int_{r_3=0}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-\frac{z^2}{2}} \left(Fc\left(g_B(z+m_Q(r_3)\sqrt{h_b^2} - m_I(r_3)\sqrt{h_b^2})\right) + Fc\left(m_I(r_3)\sqrt{h_b^2} - g_H(z+m_Q(r_3)\sqrt{h_b^2})\right) \right) dz, \quad (18)$$

где

$$m_I(r_3) = a \cdot b^{r_3} (r_3 \oplus r_4) + c^{r_3} (r_3 \oplus r_4 \oplus 1);$$

$$m_Q(r_3) = b \cdot a^{r_3} (r_3 \oplus r_4) + c^{r_3} (r_3 \oplus r_4 \oplus 1).$$

В (17) и (18) $g_H(z)$ и $g_B(z)$ — соответственно нижняя и верхняя ГОПРСК КАМ-16 в МК Грея; $Fc(x)$ — определяется (11б).

Графики вероятности ошибки на бит «круглой» КАМ-16 в МК Грея в зависимости от максимального отношения сигнал/шум h_b^2 представлены на рис. 6. Пунктирной и штрих-пунктирной линиями показаны графики зависимости соответственно первого (второго) и третьего (четвертого) битов.

Сравнительный анализ потенциальной помехоустойчивости «круглой» КАМ-16

На рис. 7 представлены графики вероятности ошибки на бит СК традиционной («квадратной») и «круглой» КАМ-16 при натуральном МК и МК Грея в зависимости от максимального отношения сигнал/шум h_b^2 . Пунктирной и сплошной линиями показаны графики зависимости соответственно традиционной и «круглой» СК КАМ-16.

Из данных графиков видно, что максимальной помехоустойчивостью обладает СК «круглой» КАМ-16 в МК Грея. Минимальную помехоустойчивость имеет СК традиционной КАМ-16 в натуральном МК. Из графиков на рис. 7 также видно, что в области малых отношений сигнал/шум h_b^2 (приблизительно до 10 дБ) СК традиционной КАМ-16 в МК Грея обладает лучшей потенциальной помехоустойчивостью по сравнению с «круглой» в натуральном МК.

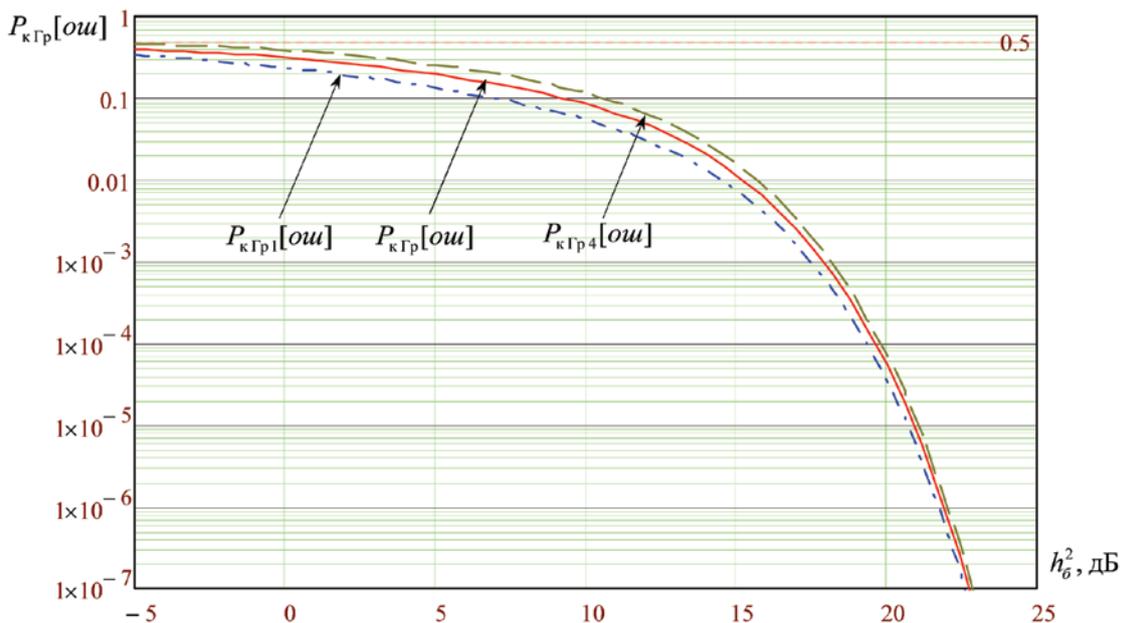


Рис. 6. Графики зависимости вероятности ошибки на бит «круглой» КАМ-16 в МК Грея

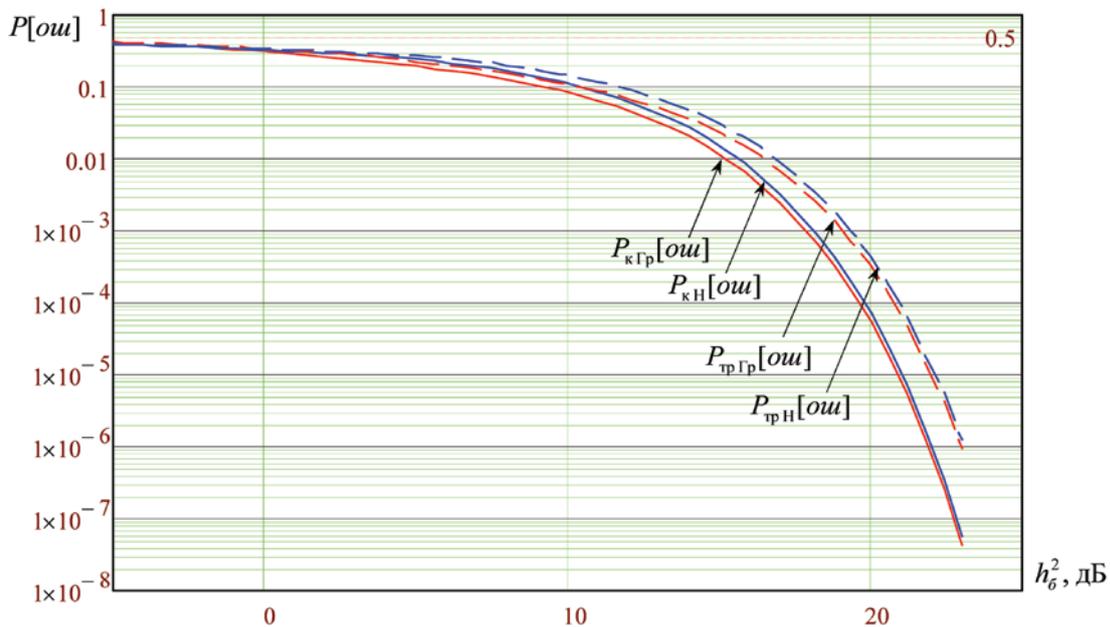


Рис. 7. Графики вероятности ошибки на бит СК традиционной («квадратной») и «круглой» КАМ-16 при натуральном МК и МК Грея в зависимости от максимального отношения сигнал/шум h_0^2 .

Таблица 1

Сравнительный анализ запаса мощности при использовании СК традиционной («квадратной») и «круглой» КАМ-16 при натуральном МК и МК Грея

	$P_{тр}$ [ош]											
	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}	10^{-9}	10^{-10}	10^{-11}	10^{-12}
$\Delta h^2_{гр}$ (дБ)	1,21	1,23	1,21	1,16	1,1	1,06	1,03	1	0,99	0,97	0,96	0,94
$\Delta h^2_{н}$ (дБ)	1,24	1,24	1,2	1,15	1,1	1,06	1,03	1	0,98	0,96	0,95	0,93
$\Delta h^2_{тр}$ (дБ)	1,23	0,42	0,25	0,17	0,13	0,11	0,09	0,08	0,07	0,06	0,05	0,05
$\Delta h^2_{к}$ (дБ)	1,2	0,41	0,25	0,18	0,13	0,11	0,09	0,08	0,08	0,07	0,07	0,06

В таблице 1 использованы следующие обозначения: $P_{тр}$ [ош] — требуемая вероятность ошибки; $\Delta h^2_{гр}$ — запас мощности, необходимый для достижения $P_{тр}$ [ош] при сравнении СК традиционной («квадратной») и «круглой» КАМ-16 в МК Грея; $\Delta h^2_{н}$ — запас мощности, необходимый для достижения $P_{тр}$ [ош] при сравнении СК традиционной («квадратной») и «круглой» КАМ-16 в натуральном МК; $\Delta h^2_{тр}$ — запас мощности, необходимый для достижения $P_{тр}$ [ош] при сравнении СК традиционной КАМ-16 в натуральном МК и МК Грея; $\Delta h^2_{к}$ — запас мощности, необходимый для достижения $P_{тр}$ [ош]

при сравнении СК «круглой» КАМ-16 в натуральном МК и МК Грея.

На рис. 8 представлены графики зависимости запаса мощности Δh от требуемой вероятности ошибки на бит $P_{тр}$ [ош] в соответствии с таблицей 1.

Анализ энергетических характеристик традиционной («квадратной») и «круглой» КАМ-16 показывает, что применение СК «круглой» КАМ-16 позволяет снизить требования к отношению сигнал/шум на входе приемного устройства более, чем на 1 дБ, при требуемых значениях вероятности ошибки на бит 10^{-8} и больше. Энергетический

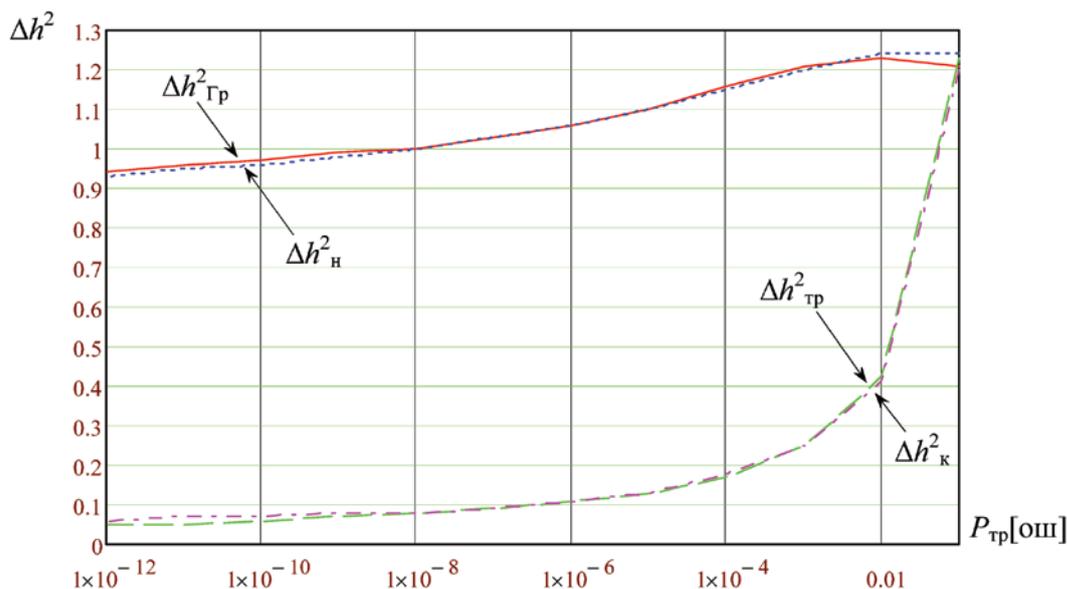


Рис. 8. Графики зависимости запаса мощности от требуемой вероятности ошибки на бит

выигрыш при переходе от натурального МК к МК Грея превышает 1дБ при достаточно больших значениях требуемой вероятности ошибки на бит: $7 \cdot 10^{-2}$ и больше. Данный энергетический выигрыш быстро снижается с уменьшением требований к вероятности ошибки и при требуемой вероятности ошибки на бит приблизительно $7 \cdot 10^{-6}$ составляет 0,1 дБ. В отличие от этого при переходе от СК традиционной («квадратной») к СК «кру-

глой» КАМ-16 энергетический выигрыш снижается медленно. При требуемой вероятности ошибки на бит $7 \cdot 10^{-6}$ составляет более 1 дБ.

Таким образом, оптимизированная шестнадцатипозиционная сигнальная конструкция на основе квадратурной амплитудной манипуляции позволяет существенно повысить помехоустойчивость относительно традиционной, при этом выигрыш составляет до 1,25 дБ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аверьянов А. В., Бобровский В. И. и др. Способ и устройство формирования сигналов КАМ. Патент РФ № 2246794 от 25.08.2011 г.

2. Аверьянов А. В., Бобровский В. И., Дормидонтов А. А. Модернизация модемов сигналов КАМ-16. Сборник «Военная радиоэлектроника; опыт использования и проблемы, подготовка специалистов». Труды межвузовской НТК ВМА им. Н. Г. Кузнецова, 15–17 марта 2011 года. — СПб. ВМА, 2011.

3. Потенциальная помехоустойчивость оптималь-

ного приема СК КАМ-16, синтезированных по критерию минимума вероятности ошибки на бит при двух манипуляционных кодах — натуральном и Грея. Системы связи. Анализ. Синтез. Управление. Выпуск 7 / Под ред. В. П. Постюшкова. — СПб.: Тема, 2001. — 128 с., С. 119–128. Бобровский В. И., Бураченко Д. Л., Тимошин И. В.

4. Бобровский В. И. Многопользовательское детектирование / Под ред. Д. Л. Бураченко. Ульяновск.: «Вектор-С», 2007. 348 с.

А. В. Бобрусь

кандидат технических наук

В. А. Бобрусь

кандидат технических наук, доцент

Военно-воздушная академия им. профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина, г. Воронеж

ФРАЗОВАЯ РАЗБОРЧИВОСТЬ РЕЧИ В СЕТИ WIN-T ПРИ ЗАДЕРЖКЕ ПАКЕТОВ В УСЛОВИЯХ КОНФЛИКТА СО СРЕДСТВАМИ РЭБ

АННОТАЦИЯ. *Постановка проблемы:* мобильная цифровая система радиосвязи WIN–T представляет собой новую архитектуру информационной системы, обеспечивающую реализацию современной концепции ведения боевых действий в едином информационном пространстве, что приводит к существенному изменению радиоэлектронной обстановки и требует разработки новых моделей функционирования системы связи в интересах оценки ее помехоустойчивости. *Предмет исследования:* функционирование выполняющих функции маршрутизации пакетов элементов мобильной цифровой системы радиосвязи WIN–T. *Цель исследования:* моделирование функционирования мобильной тактической информационной радиосети в условиях конфликта с существующими и перспективными средствами РЭБ на информационно-техническом уровне описания конфликта. *Методология* проведения исследования базируется на применении методов теории массового обслуживания, совпадений импульсных потоков, теории вероятностей и экспериментальной зависимости словесной разборчивости от коэффициента заполнения речевого сообщения пакетами. *Результаты* исследования и область их применения: для оценки разборчивости прерываемой речи в каналах цифровой сети WIN–T разработана основа аналитической модели сети связи. Модель построена по блочному типу, учитывает загрузку сети, потери пакетов и обеспечивает проведение исследований влияния на разборчивость речи временных и вероятностных характеристик подвергаемой помехам сети VoIP – телефонии и характеристик средств помех. Установлено, что потери до 10 % пакетов не приводят к заметному ухудшению качества связи; потери 50 % пакетов приводят к срыву телефонной связи. Показано, что при нормальной загрузке канала полный срыв речевой связи достигается при вероятности искажения пакетов, близкой к значению 0,4. При загрузке канала, близкой к перегрузке, полный срыв связи достигается при меньшей вероятности искажения пакетов, не превышающей значения 0,2. При максимально допустимой задержке пакетов, равной 400 мс, полный срыв телефонной связи в многоинтервальном маршруте возможен при вероятности ошибочного приема пакета, большей 0,13. *Выводы:* предложенные соотношения для оценки разборчивости прерываемой речи, передаваемой в сети IP-телефонии, позволяют дать оценку фразовой разборчивости при различных уровнях потерь пакетов и нормах разборчивости речи в линиях сети цифровой связи.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: разборчивость речи, IP-телефония, Тактический интернет, одноранговая сеть, маршрутизация пакетов, задержки пакетов, потеря пакетов, функция прерывания.

Мобильная цифровая система радиосвязи WIN–T, разработанная для сухопутных войск США и стран блока НАТО и получившая название «тактический интернет», представляет собой новую архитектуру информационной системы и реализацию современной концепции ведения боевых действий в едином информационном пространстве. Технической базой для этого является цифровизация связи и переход в тактическом звене к мобильным адаптивным

радиосетям, не требующим для своего функционирования головных станций управления сетью и обеспечивающих передачу данных и сообщений преимущественно на основе Интернет технологий [1, 2, 3].

Управление сетью радиосвязи возможно на основе модифицированной коммерческой технологии самоорганизации одноранговой сети и управления ее конфигурацией «ad hoc». Для повышения помехоустойчивости и увеличения

площади покрытия радиотерминалы сети могут использоваться в качестве ретрансляторов. Оценка качества каналов связи и их распределение между абонентами (радиотерминалами) осуществляется встроенным в радиотерминалы специальным программным обеспечением по протоколам, функции которых могут быть описаны эталонной моделью взаимодействия открытых систем ISO/OSI. Отмеченные особенности приводят к существенному изменению радиоэлектронной обстановки и требуют разработки новых моделей функционирования системы связи в интересах оценки ее помехоустойчивости [4].

Объектом исследования, в этом случае, является конфликт мобильной цифровой системы радиосвязи «тактический интернет» со средствами РЭБ, а предметом исследования — функционирование элементов транспортного, сетевого и канального уровней, выполняющих функции маршрутизации пакетов (см. рисунок 1).

Функции всех семи уровней достаточно детально изложены в литературе. Отметим, что вопросы радиоподавления цифровых каналов на физическом уровне в систематизированном виде приведены в [5]. На канальном уровне биты группируются в кадры и реализуются операции обнаружения и коррекции ошибок. В системах связи военного назначения между канальным и сетевым уровнем может быть дополнительный подуровень COMSEC, обеспечивающий шифрование кадров кодами AES128 или AES256. Сетевой уровень образует единую транспортную систему, позволяющую передавать пакеты между несколькими локальными сетями с различными принципами передачи информации меж-

ду конечными узлами. Сети соединяются между собой специальными устройствами — маршрутизаторами. Маршрут (путь) представляет собой последовательность маршрутизаторов, через которые проходит пакет. Главной задачей сетевого уровня является маршрутизация, т. е. выбор наилучшего пути. Для этого с помощью протоколов правил передачи пакетов и обмена маршрутной информацией маршрутизаторы собирают информацию о топологии межсетевых соединений. Все протоколы реализуются операционной системой и специальным программным обеспечением маршрутизаторов. Транспортный уровень обеспечивает верхним уровням передачу данных с требуемой надежностью за счет обнаружения и исправления ошибок передачи, таких как искажение, потеря и дублирование пакетов. Протоколы транспортного уровня и других верхних уровней реализуются программными средствами конечных узлов сети.

В рассматриваемой сети WIN-T организация двустороннего голосового общения между абонентами реализована на протоколах IP-телефонии. Для передачи сообщений речь в оцифрованном виде кодируется, разбивается на пакеты, которые нумеруются и поступают в каналы сети связи. На принимающей стороне происходит обратная процедура — пакеты собираются в соответствии с порядковыми номерами, декодируются и преобразуются в аналоговый сигнал. В процессе передачи некоторые пакеты могут быть не доведены до получателя вследствие влияния помех и переполнения буферов сетевого оборудования, что ухудшает качество речи.

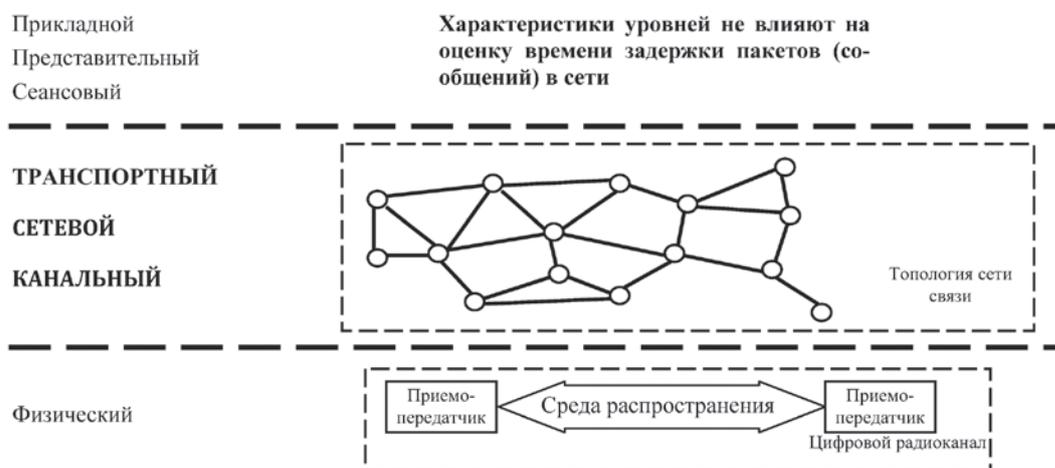


Рис. 1. Уровни взаимодействия в модели открытых систем ISO/OSI

Основной характеристикой качества речи является ее разборчивость, под которой понимают отношение числа правильно воспринятых слушателем элементов речи (звуков, слогов, слов, фраз) к числу переданных [6]. Одним из факторов, ухудшающих разборчивость речевого сообщения, является его прерывание из-за потерь пакетов. Разборчивость нелинейным образом зависит от потерь речевых пакетов, вызванных превышением времени их пребывания в сети связи сверх допустимой задержки t_z , равной $t_z = 100...400$ мс [7]. Следует отметить, что указанные значения допустимой задержки для сетей связи военного назначения являются ориентировочными и требуют экспериментального подтверждения, а вопрос влияния параметров прерывания на разборчивость речи при передаче по сетям с коммутацией пакетов исследован недостаточно полно и его решение является актуальной задачей.

Целью статьи является моделирование функционирования мобильной тактической информационной радиосети в условиях конфликта с существующими и перспективными средствами РЭБ на информационно-техническом уровне описания конфликта.

Сеть цифровой связи при передаче пакетов речевых сообщений в направлении связи между выбранными абонентами (узлами связи) можно представить в виде совокупности M кратчайших и близких к ним маршрутов, каждый из которых образуется L последовательно соединенными линиями связи. Моделью линии связи маршрута при допущении простейшего потока заявок может служить ее представление в виде СМО с памятью на n мест (пакетов) и «с ошибками», в которой с вероятностью искажения пакета $P_{ош}$ заявка обслуживается повторно. Приведенная интенсивность обслуживания в этом случае будет равна $\tilde{\mu} = (1 - P_{ош})\mu$, а нагрузка — $\rho = \lambda / \tilde{\mu}$, где λ — интенсивность входного потока пакетов. В такой СМО в соответствии с формулой Литтла среднее время задержки заявки определяется временем нахождения ее в очереди $t_{оч}$, зависящим от длины очереди \tilde{r} , по выражению

$$t_{оч} = \tilde{r} / \lambda = \frac{\rho^2 [1 - (n + 1 - n\rho)\rho^n]}{(1 - \rho^{n+2})(1 - \rho)\lambda}. \quad (1)$$

Если время пребывания заявки в очередях будет превышать значение допустимой задерж-

ки $t_z = 150..400$ мс [7], то это приведет к потере пакетов.

Время задержки в направлении связи, образованном из M маршрутов, можно найти как среднее значение задержек в маршрутах направления

$$\Xi = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M \sum_{l=1}^L t_{оч}. \quad (2)$$

Полученное таким образом время задержки необходимо сравнить с нормативным (допустимым) значением t_z , при достижении и превышении которого возможны потери пакетов и ухудшение разборчивости речи.

Для представления сигналов, переходящих в определенный момент из одного состояния в другое, наиболее подходящей является функция Хэвисайда — кусочно-постоянная функция $\theta(t)$, равная нулю для отрицательных значений аргумента и единице — для положительных. Эту ступенчатую функцию, доопределенную в нуле, например $\theta(0) = 0,5$, с учетом нормативного времени задержки пакетов t_z можно представить в виде непрерывной функции для оценки потерь пакетов

$$\beta = \frac{1}{1 + e^{-2k(t-t_z)}}, \quad (3)$$

где β — потери пакетов (в долях единицы) вследствие их «старения в очередях»; t — среднее время задержки пакетов в сети; значение коэффициента крутизны k для обеспечения расчета функции в интервале задержек речевых пакетов от 150 до 400 мс необходимо принять равным 20. Точное значение этого коэффициента требует проведения специально организованного эксперимента.

При преобразованиях речи $U_p(t)$, речевой сигнал прерывистой речи $U_{np}(t)$ будет зависеть от функции прерывания $f_n(t)$.

В частном случае, рассмотренном в [8], функция прерывания $f_n(t)$ представлена в виде периодической последовательности импульсов:

$$\begin{aligned} f_n(t) &= d + \sum_{m=1}^{\infty} A_m \cos \varpi_m(t) = \\ &= d + \sum_{m=1}^{\infty} \frac{2}{nm} \sin(\pi md) \cos \varpi_m(t), \end{aligned} \quad (4)$$

где A_m — амплитуда m -й гармоники; $m = 2n + 1$; $n = 0, 1, 2, 3 \dots$; $\tilde{\omega}_n$ — частота прерывания;

d — постоянная составляющая в виде коэффициента заполнения передачи речевого сигнала.

Спектр прерываемой речи $G_{пр}(f_p)$, вычисленный по Хинчину-Винеру, как показано в [8], существенно зависит от коэффициента заполнения передачи d и содержит спектр комбинационных частот вокруг нечетных гармоник частоты прерывания f . Эти «паразитные» составляющие комбинационных частот в зависимости от частоты прерывания совпадают с полезным спектром речи и ухудшают ее разборчивость. Чем меньше коэффициент заполнения передачи (чем больше потери), тем «засорение» полезного сигнала спектра составляющими комбинационных частот больше при равных частотах прерывания. По результатам артикуляционных испытаний в [8] получена зависимость разборчивости слов от частоты детерминированных (равномерных) прерываний при различных коэффициентах заполнения. Полученные результаты позволяют построить усредненную по частотам прерывания в полосе 0,1...3,4 кГц зависимость словесной разборчивости W от коэффициента заполнения передачи и аппроксимировать ее выражением:

$$W(d) = (1 - e^{-3,72d}). \quad (5)$$

Здесь коэффициент заполнения передачи d связан с потерями пакетов соотношением $d = 1 - \beta$. Для повышения разборчивости речи на приемной стороне могут использоваться различные алгоритмы замещения потерянных пакетов. В [9] опытным путем получены зависимости разборчивости речи, передаваемой в сети с пакетной коммутацией при замещении потерянных пакетов различными методами, от величины потерь. Сравнение полученных в [9] зависимостей разборчивости от потерь речевых пакетов и сравнение их с оценками разборчивости прерываемой речи, полученными в [8], позволяют найти выигрыш в разборчивости ΔW при замещении потерянных пакетов повторением предыдущего в виде:

$$\Delta W(\beta) = 13\beta^{2,5}e^{-11\beta}. \quad (6)$$

Следовательно, зависимость разборчивости слов W от коэффициента потерь β будет иметь вид

$$\Delta W(\beta) = (1 - e^{-3,72(1-\beta)}) + 13\beta^{2,5}e^{-11\beta}. \quad (7)$$

Фонетической характеристикой речи, необходимой для оценки ее качества в условиях

потерь пакетов, является вероятность правильного приема фразы J

$$J(\beta) = \frac{1}{1 + h \left(\frac{1}{W(\beta)^g} - 1 \right)}, \quad (8)$$

где g — число слов в фразе, по результатам артикуляционных испытаний g равно 5; h — относительное число комбинаций из g слов, для пятисловных фраз $h = 0,1$ [6].

Для принятия решения о влиянии потерь пакетов на качество телефонной связи $K(J)$ необходимо сравнение фразовой разборчивости с нормами разборчивости, определенными в [5] опытным путем:

$$K(J) = \begin{cases} \text{Недопустимое качество} & \text{при } J(\beta) < 90\%; \\ \text{Слабое качество} & \text{при } 90\% \leq J(\beta) < 95\%; \\ \text{Удовлетворительное качество} & \text{при } 95\% \leq J(\beta) < 97\%; \\ \text{Хорошее качество} & \text{при } 97\% \leq J(\beta) < 99\%; \\ \text{Отличное качество} & \text{при } 99\% \leq J(\beta). \end{cases} \quad (9)$$

Таким образом, при значениях фразовой разборчивости менее 90 % возможен срыв связи по каналам IP-телефонии. Некоторые результаты расчетов, проведенные в среде Mathcad с использованием приведенных соотношений, представлены ниже. Зависимость словесной разборчивости $W(\beta)$ от потерь β пакетов приведена на рисунке 2, а фразовой (смысловой) разборчивости J на рисунке 3.

Анализ полученных зависимостей позволяет сделать следующие выводы: потери до 10 % пакетов не приводят к заметному ухудшению качества связи; потери 50 % пакетов приводят к срыву телефонной связи. Результаты оценок разборчивости при различных нагрузках и вероятностях искажений пакетов в линиях связи маршрута приведены на рисунке 4.

Из проведенных исследований следует, что при нормальной загрузке канала пакетами ($\rho = 0,5$) полный срыв речевой связи достигается при вероятности искажения пакетов, близкой к значению 0,4. При значениях загрузки канала, близкой к перегрузке ($\rho = 0,7$), полный срыв связи достигается при меньшей вероятности искажения пакетов, не превышающей значения 0,2. При допустимой задержке пакетов, равной 400 мс, полный срыв телефонной связи в многоинтервальном маршруте возможен при вероятности ошибочного приема пакета, большей 0,13.

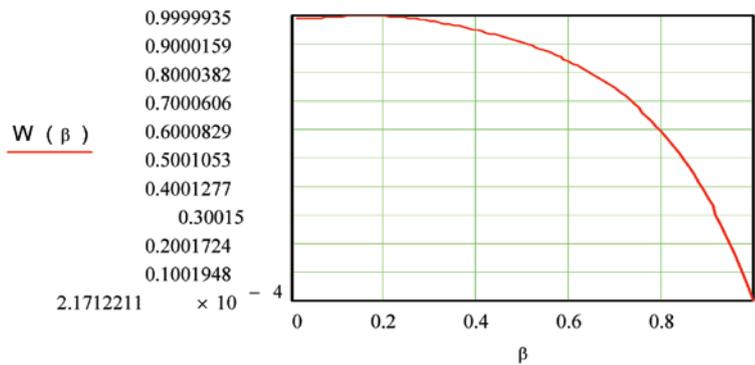


Рис. 2. Зависимость словесной разборчивости от потерь пакетов



Рис. 3. Зависимость фразовой разборчивости от вероятности искажения пакетов

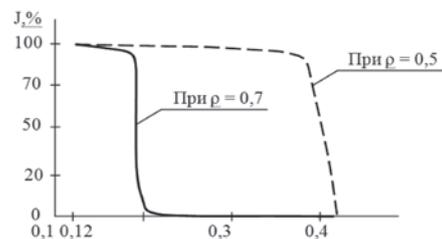


Рис. 4. Зависимость фразовой разборчивости от вероятности искажения пакетов в маршруте при разных нагрузках

Для оценки погрешности разработанной модели и исследования влияния на разборчивость речи параметров (периода и скважности) прерывания при различных законах их распределения необходимо проведение артикуляционного эксперимента по измерению разборчивости прерываемой речи.

Таким образом, предложенные соотношения для оценки разборчивости прерываемой речи,

передаваемой в сети IP-телефонии, позволяют дать оценку фразовой разборчивости при различных уровнях потерь пакетов и нормах разборчивости речи в линиях сети цифровой связи. Для оценки погрешности модели представляется целесообразным проведение эксперимента в форме артикуляционных испытаний для определения оптимальных параметров функции прерывания.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Панов А.** Организация управления и связи в боевых бригадах сухопутных войск США // Зарубежное военное обозрение, 2011. № 6. С. 33–43.
2. **Панов А.** Организация управления и связи в боевых бригадах сухопутных войск США // Зарубежное военное обозрение, 2011. № 7. С. 31–35.
3. **Плавунов С., Носиков С.** Системы и средства связи тактического звена управления сухопутных войск США // Зарубежное военное обозрение, 2012. № 4. С. 42–47.
4. **Бобрусь В. А., Бобрусь А. В.** Подход к моделированию функционирования Тактического интернета в условиях воздействия средств РЭБ. Вестник ВАИУ № 2 (18), 2013. с.
5. **Владимиров В. И., Владимиров И. В., Наметкин В. В.** Избранные вопросы радиоэлектронного подавления цифровых каналов систем радиосвязи. Монография. — Воронеж: ВАИУ, 2010. — 119 с.
6. **Покровский Н. Б.** Расчет и измерение разборчивости речи. «Связьиздат», 1962. 390 с.
7. **Яновский Г. Г.** Качество обслуживания в сетях IP. «Вестник связи», № 1, 2008. С. 65–74.
8. **Лаврентьева Е. В.** Спектр и разборчивость прерываемой речи. «Радиотехника», № 8, 2004. С. 23–25.
9. **Шалимов И. А., Костенко А. Н.** Методы повышения качества речи в сетях пакетной коммутации // специальная техника: № 5. — М. 2009, С. 47–53.

Н. В. Васильев

кандидат технических наук

О. В. Забродин

А. И. Яшин

доктор технических наук

ПАО «Интелтех»

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ОБСЛУЖИВАНИЯ В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ

АННОТАЦИЯ. Предложенный в статье автоматизированный программный комплекс оценки качества обслуживания отличается использованием в процессе принятия решения о состоянии IP-соединения вектора измеренных односторонних задержек и основан на статистическом моделировании характера поведения односторонних задержек в каждом из состояний. Определение текущего состояния соединения, соответствующего субъективному восприятию качества связи оператором осуществляется на основе байесовской классификации измеренного вектора односторонних задержек по классификатору, в котором каждый класс представлен своим распределением вероятностей с устанавливаемым набором параметров.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: статистическое моделирование, управление качеством.

Введение

В последние несколько лет в телекоммуникационном мире произошла очередная революция, связанная с коммерческим выходом сетей с коммутацией пакетов на рынок, как классических услуг связи, так и мультимедийных. Требования к доставке информации (пакетов) через сеть для этих услуг существенно отличаются от требований, предъявляемых обычными услугами передачи данных. Как следствие, возникает необходимость обеспечения качества передачи информации, т. е. предоставление гарантий передачи информации с требуемыми параметрами качества обслуживания. Для оценки качества обслуживания используются субъективные и объективные оценки. Примером субъективных оценок может служить MOS (Mean Opinion Score — усредненная субъективная оценка). К числу объективных оценок относят одностороннюю задержку, вариацию задержки (джиттер) и ширину полосы пропускания. Для объективных оценок принята шкала классов обслуживания, однако

использовать ее в автоматизированных системах мониторинга не представляется возможным в связи со сложным поведением данных характеристик, требующих принятия решения не по единичному значению, а на основе вектора измерений. Указанное противоречие делает актуальной задачу отображения набора объективных характеристик качества обслуживания в субъективное восприятие пользователем качества связи. В работе описана попытка создания комплекса, позволяющего автоматизировать задачу субъективной оценки качества обслуживания в телекоммуникационной сети.

Структура и состав программного комплекса

Предложенный в работе программный комплекс (ПК) осуществляет оценку QoS на основе односторонней задержки (OWD — One Way Delay), которая является одним из ключевых показателей, характеризующих качество передачи речевой и видео — информации. Функциональная схема программного комплекса показана на рис. 1.

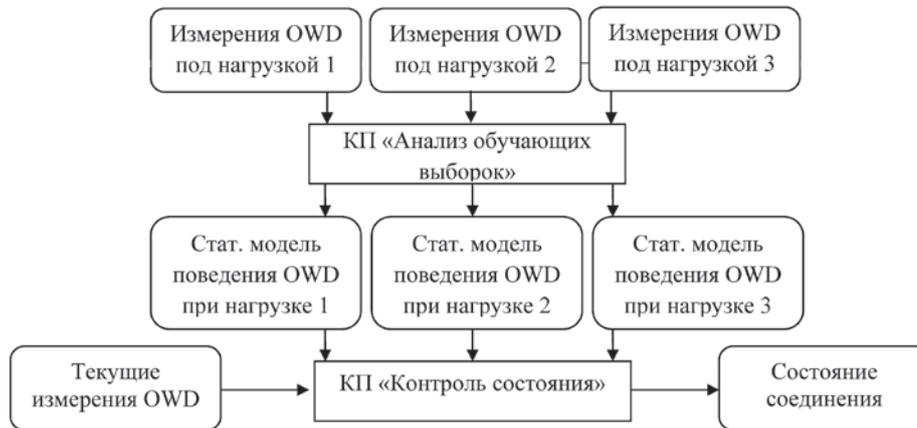


Рис. 1. Функциональная схема программного комплекса

Методологически, при эксплуатации подсистемы выделяется 2 этапа:

этап обучения классификатора состояния соединения, предполагающий анализ динамики соединения при различных нагрузках и построение модели поведения;

этап контроля состояния, предполагающий использование построенной на первом этапе модели для оценки текущего состояния.

В соответствии с данными этапами в программном комплексе выделяется 2 компонента: компонент анализа обучающих выборок, реализующий первый этап;

компонент контроля состояния соединений.

Этап обучения классификатора, реализуется компонентом программным (КП) «Анализ обучающих выборок» и состоит из следующих последовательных шагов:

задание перечня возможных состояний соединения;

создание эталонных обучающих выборок для каждого из состояний (на основе эталонной нагрузки на соединение). Предобработка полученных данных;

построение гистограммы обучающей выборки каждого состояния. Аппроксимация гистограммы на основе *EM*-алгоритма (определение параметров распределения вероятностей (ПРВ) для каждого состояния);

загрузка ПРВ каждого состояния в базу конфигурации КП «Контроль состояния соединений».

Этап контроля состояния состоит из следующих последовательных шагов:

измерение текущих значений односторонних задержек соединения;

вычисление вероятностей принадлежности измеренных величин каждой из ПРВ, полученных на этапе обучения классификатора состояний;

сравнение полученных вероятностей с заданным пороговым значением. Превышение одной из вероятности означает, что соединение перешло в состояние, описываемое вероятностью;

генерация события в случае изменения состояния соединения.

Рассмотрим данные этапы более подробно.

Этап задания перечня возможных состояний соединения. При задании перечня возможных состояний можно руководствоваться, например, рекомендациями приказа Мининформсвязи РФ от 27.09.2007 № 113.

Создание эталонных обучающих выборок. Для каждой тестовой нагрузки на соединение формируется множество n последовательных значений задержки $Y = (y_1, \dots, y_n)$. Каждое y_i можно представить как выражение:

$$y_i = x_i + c, \quad (1)$$

где x_i — задержка маршрутизации, связанная с обработкой пакета в очередях маршрутизаторов, а c — внутренняя задержка, связанная с распространением сигнала в неизменной физической среде.

Последовательность измеренных задержек маршрутизации будем обозначать X . Имея измеренный вектор односторонних задержек Y и внутреннюю задержку c , вектор задержек маршрутизации X можно представить как:

$$X = (x_1, x_2, \dots, x_n) = (y_1 - c, y_2 - c, \dots, y_n - c). \quad (2)$$

В качестве внутренней задержки была использована минимальная измеренная односторонняя задержка:

$$c = \min_{y_i \in Y} (y_i). \quad (3)$$

Этап аппроксимации. Предполагается, что на основе полученных измерений будет построена статистическая модель в виде функции плотности вероятности $f(x | \theta)$ распределения значений односторонних задержек (θ — совокупность параметров). В качестве базовых распределений были использованы гамма-распределение, распределение Рэлея и дискретное распределение. Дискретное распределение было использовано в случае, если получаемые непрерывные ПРВ не давали удовлетворительной сходимости по критерию хи-квадрат. Кроме этого, во многих случаях для моделирования наблюдаемых данных не достаточно одного исходного распределения вероятностей. Тогда необходимо предположить, что распределение исходных данных представляет собой линейную суперпозицию различных распределений вероятностей и параметры θ могут быть восстановлены методом максимизации ожидания (EM-метод).

В алгоритме EM [1] можно выделить шаг ожидания (E-шаг) и шаг максимизации (M-шаг). Процедура выполняется до тех пор, пока набор параметров смешанной модели или логарифмическая функция правдоподобия, т. е. логарифм вероятности того, что точки данных были сгенерированы смешанной моделью с текущим набором параметров, не будет меньше установленной на входе алгоритма величины, или не будет исчерпано установленное число итераций.

В целом, процедура выглядит следующим образом.

1. **Вход.** Алгоритм EM принимает в качестве входных аргументов набор точек данных $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ и необходимое для моделирования количество компонентов K .

2. **Инициализация.** Набор параметров θ_k компонентов должен быть инициализирован допустимыми значениями. В качестве оценки параметров, можно использовать значения, вычисленные на основе среднего и дисперсии выборки. Производится также первоначальная оценка логарифмической функции правдоподобия.

3. **E-шаг.** Идея E-шага состоит в том, что на основе промежуточного вектора параметров мо-

дели θ , делается вывод о вероятности принадлежности каждой точки данных к каждому компоненту. Таким образом, этот шаг связан с вычислением вероятности $z_{ik} = P(C = k | x_i)$ с помощью теоремы Байеса:

$$\begin{aligned} z_{ik} &= P(C = k | x_i) = \\ &= \frac{P(C = k)P(x_i | C = k)}{\sum_{m=1}^K P(C = m)P(x_i | C = m)} = \\ &= \frac{\pi_k P(x_i | \theta_k)}{\sum_{m=1}^K \pi_m P(x_i | \theta_m)}, \end{aligned} \quad (4)$$

где π_k — априорная вероятность того, что $C = k$, а z_{ik} — соответствующая апостериорная вероятность после наблюдения x_i .

Иными словами, z_{ik} — вероятность того, что измерение x_i было создано компонентом k . Ниже приведены выражения z_{ik} для гамма-распределения и распределения Рэлея, соответственно:

$$\begin{aligned} z_{ik} &= \frac{\pi_k G(x_i | \alpha_k, \beta_k)}{\sum_{m=1}^K \pi_m G(x_i | \alpha_m, \beta_m)}; \\ z_{ik} &= \frac{\pi_k \tilde{R}(y_i | \sigma_k^2, c_k)}{\sum_{m=1}^K \pi_m \tilde{R}(y_i | \sigma_m^2, c_m)}. \end{aligned} \quad (5)$$

4. **M-шаг.** На шаге M производится вычисление параметров θ_k каждого компонента k на основе полученных на E-шаге весов z_{ik} .

Выражения для гамма-распределения:

$$\begin{aligned} \alpha_k &= \frac{3 - u + \sqrt{(u - 3)^2 + 24u}}{12u}; \\ \beta_k &= \alpha_k \frac{\sum_{i=1}^n z_{ik}}{\sum_{i=1}^n z_{ik} x_i}, \end{aligned} \quad (6)$$

$$\text{где } u \approx \log \left(\frac{\sum_i z_{ik} x_i}{\sum_i z_{ik}} \right) - \frac{\sum_i z_{ik} \log x_i}{\sum_i z_{ik}}.$$

Для распределения Рэлея:

$$\sigma_k^2 = \frac{\sum_{i=1}^n z_{ik} u_{ik}^2}{2 \sum_{i=1}^n z_{ik}}. \quad (7)$$

Оценка параметров производится на основе метода максимального правдоподобия, описанного ранее. В качестве функции правдоподобия принимается логарифм $P(X|\theta)$:

$$l(\theta) = \ln P(X|\theta) = \sum_{i=1}^n \ln \left\{ \sum_{m=1}^K \pi_m P(x_i | \theta_m) \right\}. \quad (8)$$

Выражения для гамма-распределения и распределения Рэлея соответственно равны:

$$l(\theta) = \ln P(X|\theta) = \sum_{i=1}^n \ln \left\{ \sum_{m=1}^K \pi_m G(x_i | \alpha_m, \beta_m) \right\};$$

$$l(\theta) = \ln P(Y|\theta) = \sum_{m=1}^K \ln \left\{ \sum_{i=1}^K \pi_m \tilde{R}(y_i | \sigma_m^2, c_m) \right\}. \quad (9)$$

Результирующее правило обновления для π_k идентично для любого типа смешанных моделей и может быть определено как:

$$\pi_k = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n z_{ik} = \frac{N_k}{n}, \quad (10)$$

где N_k — ненормализованный вес компонента

$$k: N_k = \sum_{i=1}^n z_{ik}.$$

5. Проверка сходимости. После каждой комбинации E - и M -шагов, производится оценка логарифмической функции правдоподобия $l(\theta)$. В случае удовлетворения критерия сходимости, возвращается матрица параметров $\theta = (\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_K)^T$, в противном случае выполняются шаги E и M .

Одним из замечательных свойств этого алгоритма является то, что на каждой итерации увеличивается логарифм функции правдоподобия и, следовательно, качество оценок параметров на каждой итерации. Кроме того, может быть доказано получение алгоритмом EM локального максимума правдоподобия. В этом смысле максимизация ожидания в своем роде схожа с методом градиентного поиска.

Проведенные исследования показали, что однопараметрическое несмещенное распределение Рэлея или гамма-распределение не являются

достаточными для моделирования поведения OWD . Одним из выходов является приближение характеристик групп пакетов (медианы, максимума и минимума) отдельными гамма-распределениями. Поведение OWD наиболее адекватно описывается смешанным гамма-распределением. Удовлетворительные результаты оценки параметров распределения были получены при 100 итерациях алгоритма EM .

Реализация алгоритма

Рассмотрим реализацию описанного алгоритма в компоненте анализа обучающих выборок. Для обеспечения взаимозаменяемости и расширяемости реализация классов распределений вероятностей, используемых в алгоритме, осуществлена с использованием шаблона проектирования стратегия [2]. Он определяет семейство алгоритмов, инкапсулирует каждый из них и делает их взаимозаменяемыми. Стратегия позволяет изменять алгоритмы независимо от клиентов, которые ими пользуются. Базовый интерфейс *Distribution* определяет семейство классов распределений и требует от каждого класса иметь два метода:

- метод вычисления значения плотности распределения вероятностей;

- метод вычисления значения функции распределения вероятностей.

Классы, реализующие, EM -алгоритм, также используют шаблон «Стратегия». В классах определены два метода:

- восстановление параметров распределений вероятностей по выборке;

- вычисление хи-квадрат для проверки соответствия теоретического закона распределения выборочному, полученному в форме гистограммы.

Контроль состояния. Рассмотрим второй этап методики и реализующий его КП «Контроль состояния соединения». Распознавание состояния соединения подразумевает решение задачи классификации полученного вектора измеренных задержек $X = (x_1, \dots, x_n)$, т. е. отнесение его к одному из predetermined классов $C_1 \dots C_n$. Каждый класс производительности C_k характеризуется плотностью распределения вероятностей $f_k(x | C_k)$, которая описывает поведение задержки маршрутизации (получены на предыдущем этапе). Пусть $C = 1, \dots, M$ — случайная величина для обозначения класса C_k , генерирующего наблюдаемый тип поведения

трафика. Пусть X — описывает наблюдаемый тип поведения. Тогда каждый из классов C_k представлен плотностью распределения вероятностей $P(X | C = k)$. Вероятность $P(C = k | X)$ того, что полученный набор данных X был произведен C_k , называют апостериорной вероятностью C_k . Ее можно определить через теорему Байеса:

$$P(C = k | X) = \frac{P(X | C = k)P(C = k)}{P(X)} = \frac{P(X | C = k)P(C = k)}{\sum_i P(X | C = i)P(C = i)}, \quad (11)$$

где $P(X | C = k)$ — ПРВ класса C_k , $P(C = k)$ является априорной вероятностью появления данных класса C_k , $P(X)$ — вероятность генерации X любым классом.

На основании апостериорных вероятностей $P(C = k | X)$, X должен быть отнесен к одному из классов C_k . Правило принятия решения об отнесении выборки измерений к одному из классов может быть выражено как $X \sim C_k \Leftrightarrow k = \arg \max_i P(C = i | X)$, т. е. X принадлежит к классу C_k , если апостериорная вероятность $P(C = k | X)$ максимальна.

Исходя из основных функций компонента контроля состояния, в состав были включены следующие модули.

1. *Модуль сбора данных*, ответственный за получение измерений характеристик соединения (односторонней задержки). Главным элементом этого модуля является диспетчер проверок канала. В процессе функционирования в соответствии с сигналами таймера, диспетчер осуществляет назначение заданий потокам-исполнителям из пула, обеспечивая опрос соединения. Указанные потоки после извлечения перемещаются в пул для исполнения. При выполнении операции опроса поток, в соответствии с заданной спецификацией, осуществляет обращение к объекту-коллектору, обеспечивающему выполнение операции опроса.

2. *Модуль хранения данных*, ответственный за сохранение полученных измерений в базе данных и предоставление данных другим модулям. Модуль обеспечивает представление собранных данных в виде иерархической структуры. Контейнером верхнего уровня для собираемых данных выступает класс Collection Set. Он содержит список ресурсов, каждый из которых хранит

идентификатор узла, на котором он располагается, идентификаторы адресов конечных точек, между которыми происходит измерение, и хэш-таблицу для хранения результатов мониторинга. Ключом в хэш-таблице является тип группы атрибутов, а значением — имя группы измерений. Подобная структура позволяет, в дальнейшем, производить многопараметрическую оценку качества по нескольким группам измерений (например, включая джиттер и полосу пропускания).

3. *Модуль обработки данных*, ответственный за классификацию состояния канала связи на основе полученных измерений и генерацию события, соответствующего этому состоянию. Для реализации модуля обработки был использован шаблон проектирования посетитель (Visitor) [2]. Применение данного шаблона хорошо сочетается с древовидным представлением данных измерений задержек. Обработку осуществляет классификатор-посетитель, реализующий интерфейс Collection Set Visitor. Классификатор вычисляет вероятности соответствия полученных значений каждому из возможных состояний соединения. Определение оценки состояния соединения на основе измеренных данных осуществляется при помощи объектов класса Thresholding Visitor (количество объектов равно числу состояний). Thresholding Visitor получает вектор вычисленных вероятностей и осуществляет сравнение их с порогом, заданным в конфигурации. Если соответствующее порогу значение вероятности превысило порог, то определяется, в каком состоянии находился канал связи до этого, и сравнивается с текущим состоянием. В случае, когда произошла смена состояния, происходит генерация события смены состояния с последующей его записью в базу данных.

Испытание программного комплекса

Тестирование компонентов ПК осуществляется на стенде, моделирующем два взаимодействующих узла связи, каждый из которых содержит в своем составе:

- граничный маршрутизатор;
- пользовательское терминальное оборудование, представленное IP-телефонами;
- средства измерения (точки измерений односторонней задержки), агент измерений (осуществляет предобработку и преобразование данных);

средства контроля, представленные автоматизированным комплексом оценки качества обслуживания;

вспомогательные средства (генератор тестовой нагрузки на сеть).

В качестве тестовой нагрузки (для целей обучения и для целей исследования эффективности) был использован генератор нагрузки IXIA. Используемые параметры были согласованы с пользовательским восприятием качества голо-совой связи (по IP-телефону). В процессе ис-

следований деградации качества обслуживания выявлялись в 87 % случаев.

Заключение

В работе была показана и практически реализована возможность оценки качества обслуживания в автоматическом режиме за счет отображения набора объективных характеристик качества обслуживания (односторонней задержки) в субъективное восприятие пользователем качества связи, используемое на стадии обучения.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Holleczek Peter.** Statistical Analysis of IP Delay Measurements as a basis for Network Alert Systems. Proceedings of the 2009 IEEE international conference on Communications (Proceeding ICC'09), IEEE Press Piscataway, NJ, USA, 2009, pages 1185–1190.

2. **Гамма Э., Хелм Р., Джонсон Р., Влиссидес Дж.** Приемы объектно-ориентированного проектирования. Паттерны проектирования. СПб., Питер, 2007, 366 с.

В. Д. Гришин

кандидат технических наук, доцент

К. Г. Колесиков

кандидат технических наук, доцент

Б. В. Москвин

кандидат технических наук, доцент

Военно-космическая академия имени А. Ф. Можайского

АНАЛИЗ НАПРАВЛЕНИЙ ПОВЫШЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ЦЕЛЕВОГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СЛОЖНЫХ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ ВОЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

АННОТАЦИЯ. Анализ различных направлений исследования устойчивости показывает, что изучение сложных организационно-технических систем потребовало новых, нетрадиционных подходов, основывающихся на комплексном (системном) рассмотрении всего круга вопросов, связанных с целевым функционированием систем в различных условиях обстановки. Количественные оценки устойчивости позволяют разрабатывать практические рекомендации по совершенствованию техники, технологии решения целевых задач и алгоритмов управления сложными системами на этапах их создания и эксплуатации.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: организационно-технические комплексы, целевое функционирование, устойчивость, математическое моделирование.

Важнейшей особенностью современных прикладных исследований сложных организационно-технических комплексов военного назначения состоит в том, что все большее значение приобретает учет факторов сложности, таких как: многоаспектность функционирования, высокая динамичность процессов, неопределенность поведения систем в разнообразных проявлениях обстановки и др. В этой связи, для получения конкретных результатов, основополагающие достижения прикладных наук должны сочетаться с результатами, полученными в различных системно-кибернетических направлениях, в особенности, в системном анализе и системотехнике.

Одним из основных свойств больших технических систем является *устойчивость* — комплексное свойство, определяющее способность системы выполнять целевые задачи в различных условиях обстановки. Вопросы анализа устойчивости систем постоянно находятся под особым вниманием исследователей. Для изучения за-

висимости поведения системы от внешних параметров стали развиваться специфические математические модели. Однако, практика использования таких моделей для сложных систем показала, что нередки случаи, когда у исследователя не имеется даже ориентировочных предположений о том, какими математическими формализмами описывается развитие системы. Тем не менее, даже в таких ситуациях, наиболее трудных с точки зрения математического моделирования, использование методики обобщенного системного анализа позволяет указать рациональные пути повышения устойчивости целевого функционирования систем при различного рода неблагоприятных воздействиях.

Устойчивость целевого функционирования системы представляет собой комплексное свойство и, как правило, включает ряд частных свойств:

— *живучесть* — свойство, характеризующее способность системы преодолевать непрогнозируемые заранее воздействия катастрофического характера;

— *помехоустойчивость* — способность системы выполнять целевые задачи в условиях воздействия помех, как естественного происхождения, так и специально созданных;

— *надежность* — свойство системы сохранять значения эксплуатационных показателей в заданных пределах, соответствующих режимам и условиям целевого использования.

Анализ различных направлений исследования устойчивости показывает, что изучение сложных организационно-технических систем потребовало новых, нетрадиционных подходов, основывающихся на комплексном (системном) рассмотрении всего круга вопросов, связанных с целевым функционированием систем в различных условиях обстановки. В настоящее время преждевременно говорить о сформировавшейся теории устойчивости сложных систем, задача создания такой междисциплинарной теории чрезвычайно сложна, и ее решение возможно только на основе тщательного анализа результатов, накопленных в различных областях знания. Вместе с тем количественные оценки устойчивости позволяют разрабатывать практические рекомендации по совершенствованию техники, технологии решения целевых задач и алгоритмов управления сложными системами на этапах их создания и эксплуатации.

Итак, основными объектами исследования, в которых наиболее полно проявляется необходимость анализа устойчивости, являются *организационно-технические системы* (ОТС) и, прежде всего, процесс целевого функционирования таких систем. Под ОТС понимается объединение специальных технических и программных средств, создаваемых заблаговременно и необходимых для выполнения различных задач по обеспечению ее деятельности в процессе целевого функционирования.

Устойчивость сложных организационно-технических систем определяется:

- устойчивостью составляющих систему элементов;
- структурными взаимосвязями элементов;
- особенностями технологии решения целевых задач;
- алгоритмами управления системой.

Традиционный путь повышения устойчивости ОТС это повышение надежности функционирования технических элементов системы, повышение помехозащищенности каналов связи. Вместе с тем, необходимость первоочеред-

ного учета для сложных систем непрогнозируемых воздействий катастрофического характера требует системного рассмотрения вопросов совершенствования структуры, развития устойчивых технологий решения целевых задач, определения рационального состава алгоритмов управления (оперативного планирования, корректировки плана, оперативного управления, и др.). Анализ особенностей сложных систем позволяет сделать ряд заключений:

1. Устойчивость проявляется в системах, характеризующихся достаточно сложной организацией, и только тогда, когда четко сформулирована цель функционирования системы.

2. Устойчивость следует рассматривать как внутреннее свойство сложной технической системы, которым она обладает независимо от возникающих в данный момент времени условий функционирования. Система обладает этим свойством всегда, но в полной мере устойчивость проявляется при неблагоприятных воздействиях катастрофического характера.

3. Устойчивость проявляется в том, что ОТС может сохранять не все свои функции, которые она должна выполнять при нормальных условиях работы, а лишь основные, связанные с целевым назначением системы. При этом возможно снижение качества выполнения этих основных функций, что приводит и к возможному изменению стратегии целевого функционирования системы по мере увеличения тяжести последствий вследствие неблагоприятных воздействий.

4. Система может обладать свойством функциональной деградации, постепенно увеличивающейся по мере роста тяжести неблагоприятных последствий. Для каждого уровня таких последствий необходимо уметь оперативно и максимально эффективно использовать сохранившиеся ресурсы для выполнения целевых задач с учетом изменения стратегии функционирования.

Следует отметить, что разработке способов повышения устойчивости сложных систем, должен предшествовать анализ факторов, влияющих на целевое функционирование системы, и возможных стратегий компенсации этих факторов. Системный анализ таких факторов позволяет разбить эти факторы на три группы.

Первую группу образуют факторы, характеризующие неблагоприятные воздействия.

По информации, имеющейся о воздействиях, можно различать следующие ситуации:

детерминированные воздействия — имеется полная, достоверная информация о неблагоприятных воздействиях нарушающих нормальные условия выполнения целевых задач; *недетерминированные воздействия* — в этом случае необходимо производить дополнительный, количественный и качественный анализ информации. При этом можно различать: *стохастические воздействия* — в этом случае имеется объективная информация о том, что воздействия повторяются в массовых явлениях и эта повторяемость может быть описана количественно — вероятностью (например, возникновение неисправностей технических устройств вследствие старения элементов); *целенаправленные воздействия* — связаны с ситуациями, в которых сталкиваются интересы нескольких оперирующих сторон, преследующих различные цели, как правило, известные (например, специально созданные помехи, препятствующие качественному обмену информации в системе); *неизвестные воздействия* — характерны отсутствием какой-либо априорной информации о времени поступления и величине воздействия.

По *виду воздействий* можно различать *внутренние* воздействия, т. е. те, которые формируются непосредственно внутри самой организационно-технической системы, и *внешние* воздействия, которые происходят вне системы.

По *характеру происхождения* можно различать неблагоприятные воздействия *естественного* (природного) происхождения и *искусственные* воздействия, среди которых выделяют *преднамеренные* (специально созданные) и *непреднамеренные* воздействия.

Анализ возможных *повторений неблагоприятных воздействий* является весьма существенным при исследовании возможных способов обеспечения устойчивости системы. При этом при многократных воздействиях последствия их могут накладываться друг на друга, что приводит к увеличению тяжести последствий и, как следствие этого, к ускоренной деградации целевого функционирования системы. В этой связи анализ возможной повторяемости неблагоприятных воздействий чрезвычайно важен для выбора рациональных средств обеспечения устойчивости.

Вторую группу образуют факторы, определяемые свойствами самой организационно-технической системы. Здесь, прежде всего, можно различать свойства элементов, образующих си-

стему, и свойства структурного построения системы из элементов.

Анализ *свойств элементов*, определяющих устойчивость системы, позволяет выделить, прежде всего, техническую *надежность* элементов, непосредственно влияющую на статическую устойчивость системы в различных условиях обстановки.

В случае развития первичных последствий неблагоприятных воздействий существенную роль играют свойства *восстанавливаемости* элементов, во многом определяющие возможности повышения динамической устойчивости системы. Важную роль играет расширение возможностей повышения устойчивости за счет унификации элементов системы.

Структурное построение системы определяет *свойства топологии*. Анализируя указанные свойства, можно заключить, что определяющими с точки зрения повышения устойчивости является пространственное разнесение элементов системы и наличие в системе дублирующих элементов. Действительно, в условиях неблагоприятных факторов именно *пространственное разнесение элементов* позволяет локализовать последствия в районах, подвергшихся непосредственному воздействию, сохраняя другие элементы в работоспособном состоянии. Если же при этом в системе имеются *дублирующие элементы*, то способность системы к выполнению целевых задач может сохраняться достаточно долго при интенсивных воздействиях различной природы.

Третью группу образуют факторы, связанные с внешними средствами обеспечения устойчивости. Такие факторы являются существенными для повышения функциональной живучести систем, длительное время функционирующих в условиях неблагоприятных воздействий.

Анализ факторов, определяющих устойчивость организационно-технических систем, позволяет выявить и систематизировать основные группы методов ее обеспечения. Здесь можно различать следующие группы.

Структурные методы предназначены для выявления рациональных способов соединения элементов, определения степени их участия в решении целевых задач системы. Введение структурной избыточности элементов системы (дублирующие элементы, альтернативные средства решения задач, ...) позволяет компенсировать неблагоприятные воздействия на основе повышения струк-

турной устойчивости. При использовании методов данной группы очень важен правильный и полный учет технологии решения задач системы, вследствие того, что введение структурной избыточности на разных этапах технологического цикла имеет существенно различный эффект с точки зрения повышения устойчивости.

Технические методы заключаются в повышении эксплуатационных характеристик элементов системы. Данные методы позволяют значительно сократить поток неблагоприятных внутренних воздействий, связанных с отказом технических устройств системы. Расширение функциональных возможностей элементов, их унификация в широком классе целевых задач системы служит практической основой для повышения ее статической и динамической устойчивости.

Организационные методы предусматривают проведение определенных мероприятий, направленных на успешное выполнение целевых задач системы. Среди таких организационных мероприятий можно отметить, например, правильное распределение специалистов. Действительно, если специалисты с высокой квалификацией направляются на выполнение наиболее ответственных задач, то устойчивость целевого функционирования системы повышается. Другими организационными мероприятиями является повышение квалификации руководителей, готовности их к выполнению целевых задач в любых условиях обстановки.

Эргономические методы предполагают обоснованное повышение роли и функций человека (оператора) в обеспечении устойчивого решения целевых задач системы. Здесь рассматриваются вопросы организации рабочих мест; вопросы рационального состава информации, перерабатываемой операторами; задачи представления этой информации в удобном для анализа виде, соответствующем психофизиологическим возможностям оператора, и др.

Алгоритмические методы связаны с рациональным построением алгоритмов управления организационно-технической системой. Действительно, для эффективного решения целевых задач сложной системы, создается специальная система управления, в состав которой наряду с различными видами обеспечения (техническим, организационным, и др.) входит и программно-математическое обеспечение. Основу такого обеспечения составляют алгоритмы решения целевых задач, и в ситуациях, когда при

построении таких алгоритмов учитываются возможные изменения стандартных условий функционирования системы, устойчивость системы может быть существенно повышена. В частности, в ситуациях, когда чрезвычайно важным является обеспечение непрерывности управления, соответствующие алгоритмы делятся на: алгоритмы планирования (перспективного, долгосрочного и оперативного); алгоритмы коррекции оперативных планов, предназначенные для компенсации неблагоприятных воздействий, поступивших до начала реализации оперативного плана; алгоритмы оперативного управления, предназначенные для блокирования возмущений, поступающих в ходе реализации оперативного плана. Важным направлением является построение устойчивых технологий управления целевым функционированием организационно-технических систем.

В целом для повышения устойчивости системы необходимо комплексное использование рассмотренных методов при этом необходимо решить ряд частных задач.

1). Системный анализ возможных неблагоприятных воздействий в различных условиях обстановки, которая развивается в соответствии с предполагаемыми сценариями развития событий. Основной целью данного анализа является выявление наиболее существенных воздействий.

2). Анализ особенностей целевого функционирования организационно-технической системы в среде выделенных неблагоприятных воздействий и формирование частных показателей устойчивости элементов системы.

3). Формирование интегрального критерия устойчивости целевого функционирования организационно-технической системы.

4). Разработка моделей и алгоритмов для вычисления показателей устойчивости для элементов системы относительно выделенной группы наиболее существенных неблагоприятных воздействий.

5). Разработка алгоритмов для вычисления показателей устойчивости системы в целом с учетом структурных особенностей ее построения и технологии решения целевых задач.

6). Системный анализ влияния параметров системы и технологий решения целевых задач на устойчивость системы. Разработка рекомендаций по построению системы, технологиям и алгоритмам управления системой в различных условиях обстановки.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Волик Г. Б.** Надежность, эффективность и живучесть управляющих систем// Системы управления и их применение. — М.: Институт проблем управления. — 1985. — С. 23–31.

2. **Попков В. А.** Математические модели живучести сетей связи. — Новосибирск: ВЦ АН СССР Сиб. отд. — 1990. 235 с.

3. **Резников Б. А.** Системный анализ и методы системотехники. Часть 1. Методология системных исследований. Моделирование сложных систем. — МО СССР, 1990. — 522 с.

4. **Рябинин И. А., Черкесов Г. Н.** Логико-вероятностные методы исследования надежности структурно-сложных систем. — М.: Радио и связь, 1981. — 264 с.

А. С. Ломакова

С. В. Русин

кандидат технических наук

Ю. В. Савенкова

ПАО «Интелтех»

ПРИБЛИЖЕННАЯ ОЦЕНКА СКОРОСТИ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ В КВ РАДИОКАНАЛЕ С ОДНОЛУЧЕВЫМ РАСПРОСТРАНЕНИЕМ РАДИОВОЛН

АННОТАЦИЯ. В статье анализируются причины ограничивающие техническую скорость передачи в КВ радиоканале в наилучших для радиосвязи условиях — при малом уровне шума и однолучевом распространении радиоволн.

Сделан вывод о возможности и целесообразности применения RAKE-приема для повышения качества связи и скорости передачи информации.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: МПЧ, замирания, интерференция, вероятность.

Одной из причин невысокого качества КВ радиосвязи при однократном приеме является многолучевое распространение радиоволн. Каждый луч расщепляется в ионосфере на обыкновенную и необыкновенную волны [1]. Интерференция волн является причиной замираний сигнала и ухудшения качества радиосвязи. Если рабочая частота равна или близка МПЧ, то возникают условия однолучевого распространения, которые являются наилучшими для радиосвязи. В этом случае в пункте приема наблюдаются одна обыкновенная и одна необыкновенная волны, отличающиеся по поляризации и фазе. Авторам посчастливилось относительно долго наблюдать однолучевое распространение сигнала в условиях малых внешних шумов и записать его. Результаты исследования статистических характеристик сигнала позволяют обоснованно предлагать решения по компенсации потерь качества и повышению скорости передачи.

Наблюдение проводилось на радиолинии протяженностью 1072 км Санкт-Петербург — Воронеж на частоте 5 МГц 875 кГц близкой, а в некоторые моменты времени равной МПЧ. Излучение и запись сигнала в режиме «несущая» длилась 1 ч 16 мин (с 4 ч 05 мин до 5 ч 21 мин)

12 апреля 2013 г. Выходная мощность передатчика составляла 15 кВт, КБВ на выходе передатчика — 0,8, передающая антенна типа ЛПА.

Прием осуществлялся приемником SCR 3501 производства фирмы «Schaffner TEST SYSTEMS GmbH», Германия. В качестве приемной антенны использовалась экранированная рамка диаметром 60 см, установленная вертикально на плоской железобетонной крыше 4-этажного здания. Уровень шума в точке приема на протяжении измерений составлял минус 20 дБмкВ. Отчеты принимаемого сигнала записывались с периодом 0,619 с, из них 0,5 с — время интегрирования и 0,119 с — время записи сигнала на жесткий диск компьютера.

Суточный ход МПЧ изображен на рисунке 1 красной линией. Отрезок времени, на котором проводились измерения, выделен на горизонтальной оси. За время наблюдения рабочая частота (синяя прямая линия) близка, а в некоторые моменты времени совпадает с МПЧ трассы.

Лучевая структура трассы во время измерений представлена на рисунке 2. Белой и красной линиями показаны траектории обыкновенной и необыкновенной волн, соответственно.

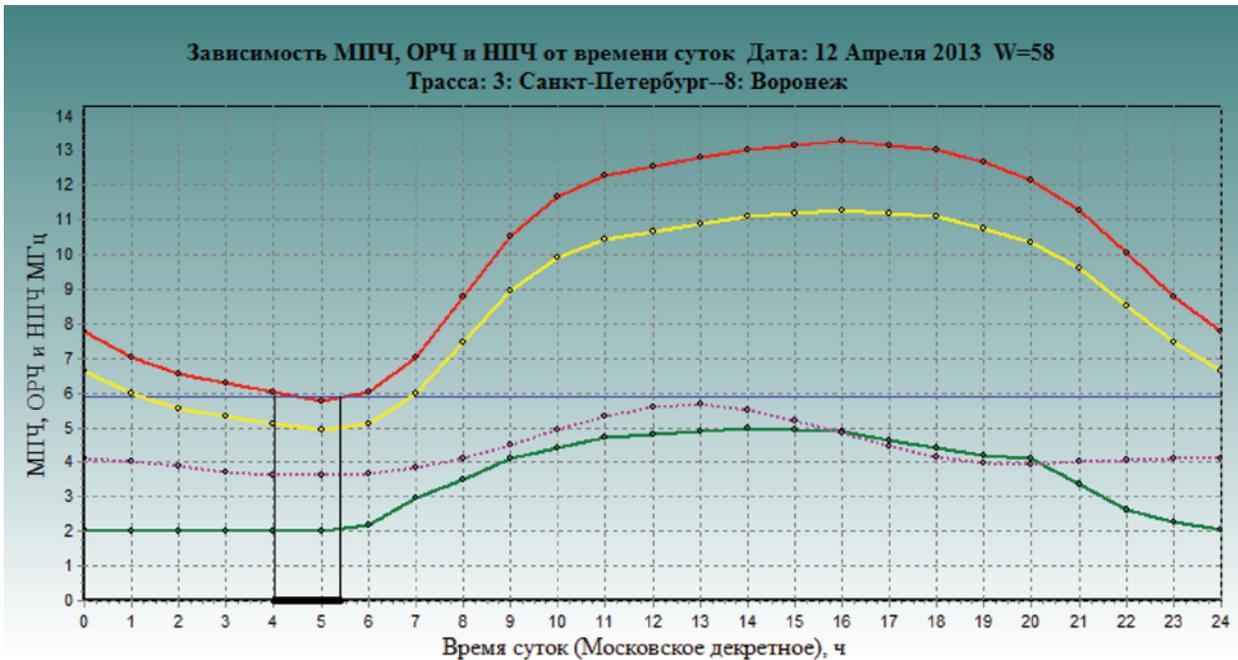


Рис. 1. Суточный ход МПЧ, ОРЧ, НПЧ

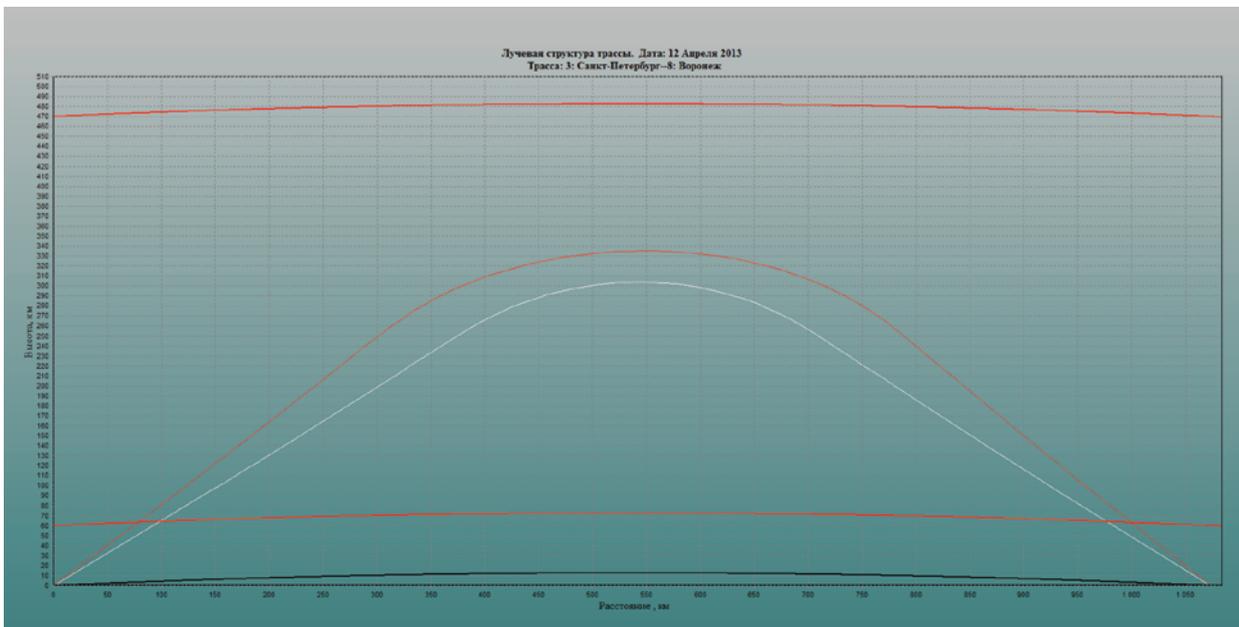


Рис.2. Лучевая структура сигнала на время измерений

Задержка необыкновенной волны относительно обыкновенной составляла 0,41 мс.

Зависимость уровня сигнала от времени на входе приемника представлена на рисунке 3 (синяя линия). На этом же рисунке показаны результаты усреднения за 5-ти, 10-ти и 20-ти минутные интервалы (красная, зеленая и черная линии, соответственно). Как видно, уровень сигнала изменяется хаотически на протяжении всех 76 минут наблюдения.

Гистограмма плотности распределения вероятности уровня сигнала представлена на рисунке 4. Для оценки статистических характеристик использовано обобщенное распределение экстремумов (generalized extreme value) или GEV распределение [2] (красная линия), которое наилучшим образом повторяет гистограмму во всем диапазоне значений.

Для исследования свойств стационарности, а также длительности и глубины замираний, время наблюдения разбито на одинаковые интервалы. Найден спектр гармонических составляющих за все время измерений и на каждом интервале.

На каждом интервале плотность распределения также близка к GEV распределению. Статистические параметры сигнала за все время наблюдения и в каждой четверти этого времени представлены в таблице 1.

Как видно из таблицы 1 сигнал характеризуется большим разбросом величин, а статистические свойства сигнала слабо зависят от начала и продолжительности времени наблюдения [3]. Разброс является результатом интерференции обыкновенной и необыкновенной волн.

Преобразование Фурье показало, что период медленных замираний равен примерно половине длительности интервала наблюдения.

Выполнена приближенная оценка скорости передачи информации в радиоканале с однолучевым распространением радиоволн. Предельная скорость C (бит/с) передачи информации по Шеннону зависит только от полосы сигнала B (Гц), отношения мощностей сигнал/шум (S/N) и определяется выражением:

$$C = B \cdot \log_2(1 + (S/N)).$$

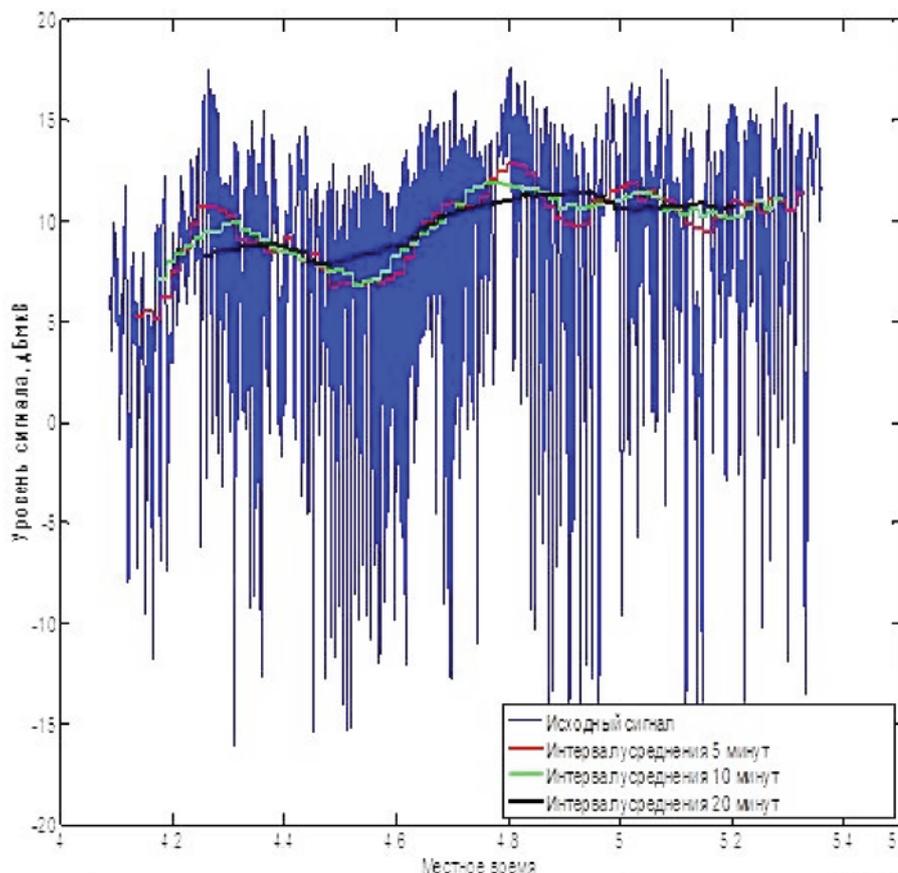


Рис. 3. Зависимость уровня сигнала от времени на входе приемника

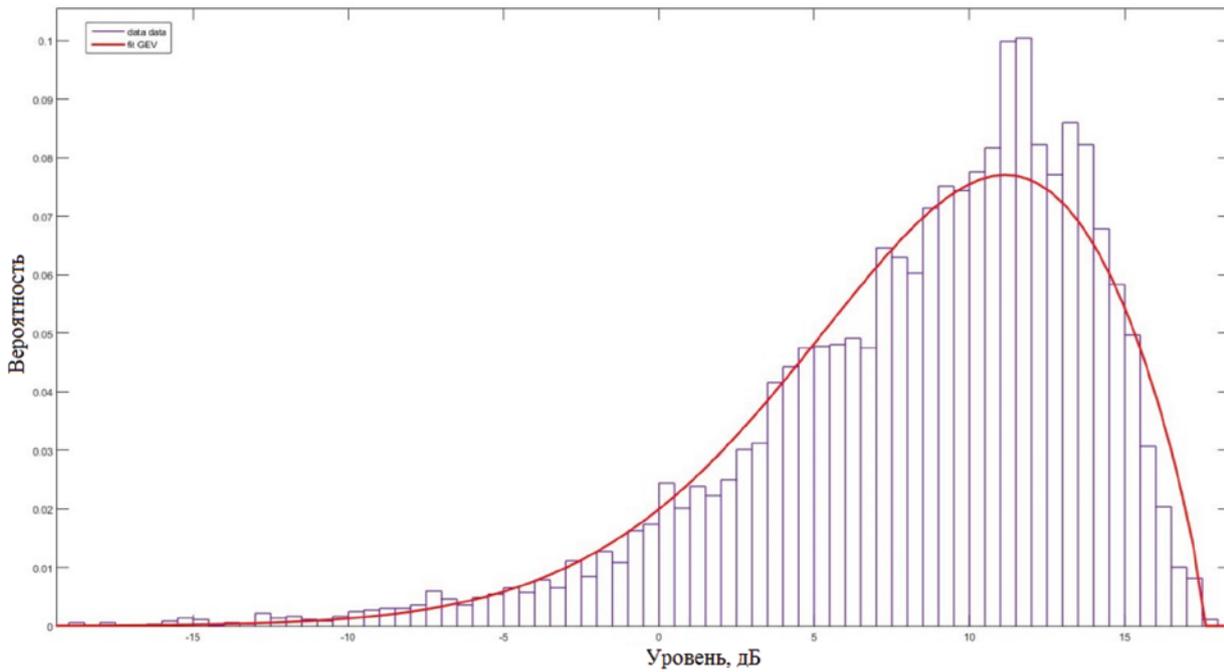


Рис. 4. Плотность распределения вероятности уровня сигнала

Таблица 1

Статистические параметры сигнала

Период	Математическое ожидание, дБ	Среднеквадратичное отклонение, дБ	Разница верхней и нижней децилей, дБ	Преобладающие гармонические составляющие замираний, Гц	Амплитуды гармонических составляющих замираний	Период гармонических составляющих замираний, мин
За весь период	8.41	5.48	13,3	$1,357 \cdot 10^{-4}$ $4,125 \cdot 10^{-4}$	117.78 112.528	122.8 40.4
I четверть	7.02	4.97	12,4	$5,158 \cdot 10^{-4}$ $1,547 \cdot 10^{-3}$	122.428 117.527	32.3 10.7
II четверть	7.22	3.76	12,9	$1,032 \cdot 10^{-3}$	162.656	16.2
III четверть	10.01	3.15	12,5	$1,032 \cdot 10^{-3}$	187.532	16.2
IV четверть	9.38	2.76	12,8	$1,629 \cdot 10^{-3}$ $3,258 \cdot 10^{-3}$	55.424 48.948	10.2 5.1

Воспользовавшись величиной математического ожидания уровня сигнала за время наблюдения (8,41 дБ) находим, что при существовавшем за время наблюдения уровне шума (минус 20 дБ), предельная скорость передачи в стандартной полосе 1000 Гц составляет 9440

бод. Однако скорость передачи информации в радиоканале была ограничена интерференцией обыкновенной и необыкновенной волн. Задержка необыкновенной волны на величину $\tau = 0,41$ мс приводит к искажению краев посылок на глубину 0,41 мс. В процентном от-

ношении глубина искажений на краях зависит от скорости передачи. Например, при технической скорости передачи 100 бод искажения составят 4 % по фронту и столько же по спаду. Если потребовать, чтобы каждая посылка имела в середине неискаженную область 20 %, то максимальная скорость составит 1000 бод, т. е. в 9 раз меньше максимально возможной. Дальнейшее повышение скорости приводит к уменьшению неискаженной области и увеличению вероятности ошибки. Чтобы поддерживать неизменным качество приема, потребуется увеличивать мощность излучения.

Компенсировать ухудшение качества связи и повысить скорость передачи можно, если согласовать поляризацию приемной антенны (а в идеале — и передающей антенны тоже) с поляризацией обыкновенной волны. На подвижном объекте это не всегда возможно. В такой ситуации повысить качество КВ радиосвязи возможно на основе цифровых технологий, в частности, с использованием РАКЕ-приема, но при условии, что лучевая структура сигнала известна и за время передачи сообщения она не изменит-

ся. Проведенный анализ показал, что лучевая структура КВ канала изменяется относительно медленно и за время передачи сообщения ее можно считать постоянной. Лучевую структуру сигнала можно определить по синхронизирующей последовательности, а в дальнейшем ее изменение можно отслеживать в ходе сеанса.

Заключение

Проведенный анализ статистических и лучевых свойств КВ радиоканала показал, что в идеальных для радиосвязи условиях: малом уровне шума и однолучевом распространении радиоволн существуют объективные причины, существенно (в 9 раз) ограничивающие техническую скорость передачи информации. Вместе с тем, при кажущейся хаотичности уровня сигнала, его статистические и лучевые параметры предсказуемы, и могут быть определены в начале и в процессе сеанса связи. Это обстоятельство позволяет использовать цифровые методы обработки сигнала, в частности, РАКЕ-прием для улучшения качества связи и повышения скорости передачи информации.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Долуханов М. П.** Распространение радиоволн. Учебник для вузов. — М.: «Связь», 1972. — 336 с.
2. GEV распределение — <http://www.mathworks.com/help/stats/generalized-extreme-value-distribution.html>
3. **Венцель Е. С., Овчаров Л. А.** Теория случайных процессов и ее инженерные приложения. Учеб. пособие для вузов. — 2-е изд., стер. — М.: Высш. шк., 2000. — 383 с.

С. М. Одоевский

доктор технических наук, профессор, Военная академия связи

Д. В. Салюк

кандидат технических наук, доцент, ПАО «Интелтех»

В. В. Степаненко

Военная академия связи

ОБОБЩЕННАЯ ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ОПТИМИЗАЦИИ, РЕШАЕМЫХ ПРИ ЧАСТОТНО- ТЕРРИТОРИАЛЬНОМ ПЛАНИРОВАНИИ СЕТЕЙ ШИРОКОПОЛОСНОГО РАДИОДОСТУПА

АННОТАЦИЯ. Предлагается обобщенная постановка задачи оптимизации, решаемых при частотно-территориальном планировании сетей широкополосного радиодоступа, в строгой формализованной форме, позволяющей корректно учитывать доступную априорную информацию о пределах возможных изменений условий функционирования сети, а также о возможностях используемых режимов адаптации сетевых элементов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: оптимизация, частотно-территориальное планирование, широкополосный радиодоступ.

Современные сети широкополосного радиодоступа (ШРД) [1] способны адаптивно перераспределять частотно-энергетические ресурсы базовых станций (БС) в пространстве и во времени. С одной стороны, подобная адаптация снижает актуальность достоверной информации об условиях функционирования сети на этапе частотно-территориального планирования (ЧТП) [2], поскольку БС могут «подстраиваться» под конкретные текущие воздействия внешней среды непосредственно в процессе функционирования сети [3]. Однако, с другой стороны, возможности адаптации всегда ограничены соотношением доступных частотно-энергетических ресурсов и возможных проявлений внешних факторов, зависящих в совокупности от принятых решений на этапе ЧТП, в частности, от выбранных мест размещения БС, высот антенных мачт, количества и типов антенн, частотных полос, правил их переключения и т. д. При этом в случае неудачного выбора указанных параметров (многие из которых физически невозможно быстро и часто изменять), при определенных неблагоприятных проявлениях внешних факто-

ров пределов адаптации может не хватить и требования к качеству предоставляемых услуг связи не будут выполнены.

Следовательно, для гарантированного выполнения требований к качеству связи в сетях ШРД в процессе их функционирования большое значение на этапе ЧТП имеет оптимизированный выбор значений управляемых параметров режимов работы оборудования БС, при котором пределов их адаптации на этапе функционирования будет достаточно для перекрытия пределов изменения внешних условий, прогнозируемых на основании априорно доступной информации.

В общем случае с математической точки зрения к задачам оптимизации относят задачи поиска экстремума (максимума или минимума) некоторой целевой функции $Q(m)$, зависящей от перебираемых значений некоторых управляемых параметров $m \in M$ в пределах некоторой области (множества) допустимых значений M .

Результатом решения задачи оптимизации считаются оптимальные значения управляе-

мых параметров m^* , при которых достигается экстремум (оптимальное значение) целевой функции Q^* :

$$m^* = \arg \operatorname{extr}_{m \in M} Q(m). \quad (1)$$

$$Q^* = \operatorname{extr}_{m \in M} Q(m) = Q(m^*). \quad (2)$$

В общем случае в задачах оптимизации сетевых сетей мобильной связи (или их составных частей) и целевая функция $Q(m)$, и аргументы m этой функции являются векторными, т. е. представляют собой некоторые множества числовых характеристик, причем, как правило, довольно большого размера, соизмеримого с количеством различных параметров отдельных сетевых элементов и участков местности в используемой геоинформационной базе данных.

На практике при решении задач планирования и оптимизации сетей ШРД с учетом реальных возможностей осмысленной обработки информации должностными лицами, принимающими решение (ЛПР), используются различные варианты сокращенного (обобщенного) представления исходных данных и результатов расчета. Отобранные для анализа и оптимизации типовые управляемые (настраиваемые) параметры сетевых элементов m в современной англоязычной литературе именуют AP — adjustable parameter, а оцениваемые целевые показатели качества (эффективности) функционирования сети Q именуют KPI — Key Performance Indicator.

Вид функциональной зависимости целевой функции $Q(\cdot)$ от управляемых параметров m , в выражениях (1) и (2) в конкретных задачах оптимизации, определяется конкретными моделируемыми объектами и процессами их функционирования, которые обобщенно можно представить некоторыми параметрами $u \in U$ условий функционирования рассматриваемой сети или ее части, которые принимают конкретные значения u из некоторого множества возможных значений U . При этом учет конкретных параметров условий функционирования u при решении задач оптимизации можно отразить путем следующей модификации выражений (1) и (2):

$$m^*(u) = \arg \operatorname{extr}_{m \in M} Q(m, u). \quad (3)$$

$$Q^*(u) = \operatorname{extr}_{m \in M} Q(m, u) = Q(m^*, u). \quad (4)$$

Как видно из (3) — (4), оптимальные значения управляемых параметров $m^*(u)$ и целевой функции $Q^*(u)$, в данном случае являются условными, т. е. зависящими от конкретных значений учитываемых параметров условий функционирования u , что может представлять особый интерес для ЛПР, например, при оценке влияния различных дестабилизирующих факторов на достижимое качество обслуживания мобильных абонентов за счет выбора оптимальных (наиболее подходящих для данных условий) значений управляемых параметров сетевых элементов.

Размерность множества параметров условий функционирования u бывает, как правило, не меньшей, а то и на много большей, чем размерность множеств m и Q . В частности, именно к данным параметрам относятся картографические параметры рельефа местности, условий распространения радиоволн, наземных объектов, пространственного распределения абонентов, требуемых ими услуг и т. д.

Учитывая ограниченную предсказуемость и конечную точность значений параметров условий функционирования $u \in U$ из них обычно выделяют детерминированные, случайные и неопределенные параметры. Корректное (строгое) численное решение задач оптимизации возможно только при конкретных детерминированных исходных данных. Поэтому случайные параметры обычно заменяют детерминированными параметрами их законов распределения (на основании статистики измерений в реальной сети), а неопределенные параметры — детерминированными граничными (объективными) или экспертными (субъективными) оценками (на основании опыта решения подобных задач и/или опыта эксплуатации подобных сетей в похожих условиях). В последнем случае объективным способом учета неопределенных параметров условий функционирования является оценка гарантированного значения целевой функции $Q^* = Q(m^*, u^*)$ путем решения двусторонней задачи оптимизации в игровой постановке, предполагающей поиск наилучших значений управляемых параметров $m^* \in M$, при наихудших значениях параметров условий функционирования $u^* \in U$ [4].

Для наглядности предположим, что в роли экстремума в выражениях (3) — (4) выступает максимум целевой функции. Тогда в игровой постановке задачу оптимизации можно представить в виде

$$\{m^*, u^*\} = \arg \max_{m \in M} \min_{u \in U} Q(m, u). \quad (5)$$

$$Q^* = \max_{m \in M} \min_{u \in U} Q(m, u) = Q(m^*, u^*). \quad (6)$$

Заметим, что на результат решения игровой задачи двусторонней оптимизации в общем случае влияет очередность решения взаимосвязанных задач односторонней оптимизации (это актуально в случаях, когда целевая функция $Q(m, u)$, выступающая в роли функции выигрыша в антагонистической игре, не имеет седловой точки). Решение оптимизационной задачи в виде (5)–(6) позволяет найти гарантированный результат $Q^* = Q(m^*, u^*)$ при самом пессимистичном прогнозе, когда решение m сначала принимает ЛПР, а затем для этого решения подбираются наихудшие условия $u^*(m)$.

Следует заметить, что оптимальное значение целевой функции Q^* в (6) зависит не от конкретных значений выбираемых параметров (m, u) , а от параметров множеств их возможных значений (M, U) , что позволяет в ряде случаев использовать полученные зависимости $Q^*(M, U)$ для решения многоуровневых вложенных задач оптимизации, в которых управляемые параметры на одном уровне выступают в роли ограничений других управляемых параметров — на другом уровне.

Так, для современных технологий построения сетей ШРД 3-го и, особенно, 4-го поколения характерно использование множества различных адаптивных алгоритмов управления, которые позволяют отслеживать изменяющиеся условия функционирования и подстраивать под них управляемые параметры. Однако решения о каждом очередном изменении управляемых параметров принимает в данном случае не ЛПР, а устройство автоматического управления по некоторому заложенному в него алгоритму, но в пределах ограничений, которые, как раз, и задает ЛПР на этапе ЧТП. При этом фактически решается двухуровневая (двухэтапная) задача оптимизации: на верхнем (условно — первом) уровне ЛПР выбирает $m_1 \in M_1$ — ограничения управляемых параметров нижнего уровня (условно — второго) $M_2 = m_1$ на длительных интер-

валах времени (задает алгоритмы управления и/или распределяет некоторые ресурсы между отдельными устройствами автоматического управления), а на нижнем — устройства автоматического управления выбирают конкретные значения управляемых параметров $m_2(u_2) \in M_2$ на коротких интервалах времени в пределах заданных ограничений M_2 в зависимости от наблюдаемых текущих значений параметров условий функционирования u_2 .

Для учета возможности достоверного (с допустимой погрешностью) отслеживания текущих значений параметров условий функционирования на нижнем уровне в игровой постановке (5) – (6) следует изменить очередность решения задач односторонней оптимизации (max по $m \in M$ и min по $u(m) \in U$ на min по $u \in U$ и max по $m(u) \in M$), что позволит получить оптимистичный прогноз, предполагающий сначала выбор условий функционирования u , а затем выбор для этих условий наилучших значений управляемых параметров $m^*(u)$. При этом на верхнем уровне со стороны ЛПР в данном случае решается задача оптимизации выбора ограничений (распределений) управляемых параметров при известных (долговременных) ограничениях условий функционирования, т. е. фактически решается задача (3) – (4), но с учетом несколько иного физического смысла управляемых параметров $m = m_1$ и параметров условий функционирования $u = u_1$ (для нижнего уровня эти параметры будут играть роль ограничений $M_2 = m_1, U_2 = u_1$).

Представленная выше обобщенная постановка задач оптимизации, решаемых на этапе ЧТП сети ШРД с учетом заданных ограничений возможных изменений условий функционирования и заданных сетевых ресурсов, была использована при модификации специального программного комплекса ONEPLAN RPLS (ONEGA) [5], в результате чего были разработаны и программно реализованы алгоритмы оптимального выбора мест размещения БС и распределения частотных полос, при которых гарантируется предоставление услуг с заданным качеством на всей обслуживаемой территории.

ЛИТЕРАТУРА

1. Системы и сети радиодоступа 4G: LTE, WiMAX / Рыжков А. Е., Сиверс М. А., Воробьев В. О., Гусаров А. С., Слышков А. С., Шуньков Р. В. — СПб: Линк, 2012. — 226 с.
2. **Бабков В. Ю, Вознюк М. А., Михайлов П. А.** Сети мобильной связи. Частотно-территориальное планирование. — М.: Горячая линия — Телеком, 2007. — 224 с.
3. **Одоевский С. М., Калюка В. И.** Оценка качества обслуживания мобильных абонентов в широкополосных сетях беспроводного доступа с мягким повторным использованием частот // Сборник трудов XVI международной НТК «Кибернетика и высокие технологии XXI века». Воронеж, 13–14 мая 2015 г. — Воронеж: 2015. — С. 113–120.
4. **Одоевский С. М. Калюка В. И.** Адаптивно-игровое моделирование военных сетей беспроводного абонентского доступа. — Новочеркасск: УПЦ «Наб-ла» ЮРГТУ (НПИ), 2009. — 216 с.
5. **Одоевский С., Степанец В.** Планировать беспроводную связь с комфортом: программный комплекс ONEPLAN RPLS (ONEGA) // Первая миля. Приложение к журналу «Электроника: Наука. Технологии. Бизнес». — 2013. — № 2. — С. 34–39.

В. Я. Пророк

доктор технических наук, профессор

В. С. Скирда

А. С. Горянский

Военно-космическая академия имени А. Ф. Можайского

МЕТОДИКА ОБОСНОВАНИЯ РАЦИОНАЛЬНОГО СОСТАВА И СТРУКТУРЫ УУТК РЛС ВЗГ

АННОТАЦИЯ. В данной статье приведен алгоритм генерации вариантов функциональной структуры унифицированного учебно-тренировочного комплекса (УУТК) необходимый для выполнения задач решаемых данным комплексом. Так как в ходе синтеза необходим просмотр большого количества вариантов их организации, отличающихся как глубиной иерархии, так и количественными составами структурных подсистем на каждом уровне, то необходим механизм, позволяющий целенаправленно изменять структурную сложность взаимных связей задач, и на основе синтезируемых вариантов их структур осуществлять их вертикальную и горизонтальную структуризацию.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: унифицированный учебно-тренировочный комплекс, структуризация, математическая модель, обучающая выборка, классификация объектов, уровень компетенции, образ описания должности.

Введение

Структуризация задач, решаемых УУТК, имеет своей целью создание наилучших условий для достижения цели повышения уровня профессиональной подготовки кандидатов. Поэтому компактность решения задач в определенном смысле не является требованием максимальной информационной автономности (минимальной связности) задач, решаемых с помощью разнообразных средств; замыкание прямых информационных связей между задачами в группах в данном случае не цель, а следствие, и осуществляется только в той мере, в которой это необходимо для выполнения указанного требования и удовлетворения соответствующих ограничений на разработку, создание и поддержание работоспособности УУТК.

Создание такой структуры УУТК, в которой каждое обучающее или диагностическое средство решает задачи наиболее близкие с точки зрения необходимой для их реализации информации, эквивалентно при ограничениях на результаты решения задач, требованию миними-

зации объема дублирующей информации, поступающей на обработку. Тем самым обнаруживается тесная связь между задачами создания рациональной системы информационных потоков путем структурирования задач и совершенствованием структуры УУТК.

Алгоритм генерации вариантов функциональной структуры УУТК

В настоящее время нет достаточно разработанной теории, позволяющей осуществить процесс взаимного согласования задач, решаемых какой-либо системой в целом и УУТК в частности. Отсутствие такой теории ряд авторов объясняют, во-первых, недостаточным эмпирическим опытом классификации различного рода задач и разнесения их по уровням сложности принимаемых решений. Во-вторых, недостаточной проработкой принципов рационального распределения усилий по принятию решений органами управления (проблема централизации и децентрализации). В-третьих, трудностями синтеза иерархии задач и микроуровневой структуры средств решения этих задач ввиду от-

существования однозначного соответствия между этими двумя типами иерархий.

Иерархия задач (целей) УУТК может строиться как снизу вверх (то есть индуктивным методом), так и сверху вниз путем конкретизации задач вышестоящего уровня (т. е. методом дедукции).

В работах [1, 2] предлагается комбинированный метод построения целей: на основе дедуктивного метода строится структура дерева целей, на основе индуктивного метода уточняются перекрестные связи между целями. Исходя из общей методологии проектирования структур систем, структуризация задач УУТК должна отвечать двум критериям: во-первых, структурная группировка задач должна отражать характер их представления во множестве причинно-следственных связей и соответствовать доминирующей форме иерархической организации системы данного класса; во-вторых, будучи распределенными между структурными подсистемами УУТК, задачи не должны нарушать целостность ее структуры и должны обеспечивать требуемую степень целенаправленности ее функционирования.

В отношении первого критерия можно указать, что в соответствии с анализом различных форм организации систем подобных УУТК, могут быть выделены две основные формы организации: централистическая, соответствующая иерархической структуре системы, и скелетная или ацентрическая. В современных системах обе формы организации находятся в тесной взаи-

мосвязи, что необходимо для их нормального функционирования. В целом, исходя из общих принципов функционирования УУТК, доминирующей оказывается централистическая форма организации.

Таким образом, процедуры, реализующие первый критерий структуризации задач, должны обеспечивать также их разбиение, которое позволило бы представить их в форме иерархической многоуровневой структуры (рис. 1). Отражая характер связей между группами задач, такая структура может рассматриваться как иерархическая структура потенциальных сфер использования отдельных подсистем УУТК разных уровней иерархии.

В отношении второго критерия можно указать, что в рамках этих процедур структуризации осуществляется группировка задач не по вертикальным, а по горизонтальным связям. Полученные таким образом группировки задач будут определять потенциальные сферы применения подсистем, находящихся на одном уровне иерархии.

Наличие перекрестных связей между задачами, нередко приводит к появлению циклов, что исключает их вертикальную структуризацию. Наличие циклов свидетельствует о существовании совокупности сильно связанных подзадач, решаемых в ходе циклического обмена информацией (в процессе внутреннего диалога). Такие подзадачи не могут быть разделены в рамках данного уровня декомпозиции системы. Они рассматриваются как одна задача (как один

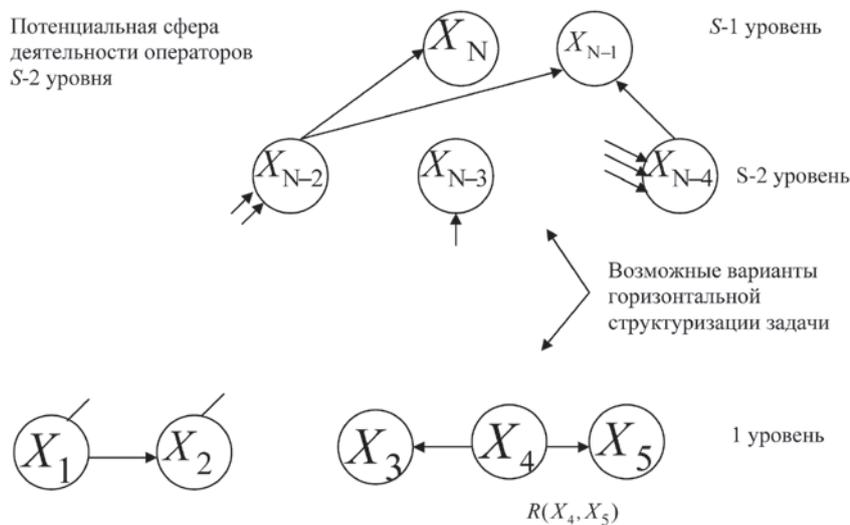


Рис. 1. Пример вертикальной и горизонтальной структуризации задач

сложный элемент). А при необходимости изучения более тонкой структуры их анализ осуществляется отдельно.

Таким образом, процедура выявления сильно связанных задач должна предшествовать процедурам вертикальной и горизонтальной структуризации задач диагностики.

Постановка задачи синтеза рациональной структуры учебно-тренировочных средств

Так как в ходе синтеза структуры УУТК необходим просмотр большого количества вариантов их организации, отличающихся как глубиной иерархии, так и количественными составами структурных подсистем на каждом уровне, то необходим механизм, позволяющий целенаправленно изменять структурную сложность взаимных связей задач, и на основе синтезируемых вариантов их структур осуществлять их вертикальную и горизонтальную структуризацию.

Суть работы этого механизма сводится к следующему (рис. 2):

а) На множестве задач X рассчитывается некоторая структурная функция $R(x_i, x_j)$, определяющая меру их взаимной близости. Функция определена на интервале от 0 до 1.

б) Выбирается шаг варьирования параметров структуризации задач ΔR . Он определяет дискретность выбора структурных параметров задач, а следовательно, и вариантов организации структуры УУТК.

в) Вводится понятие "шаг структуризации" — Z , ($Z = 1, 2, 3..$).

г) На множестве значений функции $R(x_i, x_j : i, j = \overline{1, L})$ формируется дискретная функция $R_Z(x_i, x_j)$, $L = |X|$ — число типов задач управления,

$$R_Z(x_i, x_j) = \begin{cases} R(x_i, x_j), & \text{если } R(x_i, x_j) \geq Z \Delta R, Z = \overline{0, \lceil 1 / \Delta R \rceil} \\ 0 & \text{— в противном случае} \end{cases}$$

$\lceil \times \lfloor$ — означает операцию округления до меньшего целого и корректируется граф $C_Z(X, Y_Z)$ взаимных связей задач, где дуги графа, определяющие направленные связи задач, равны:

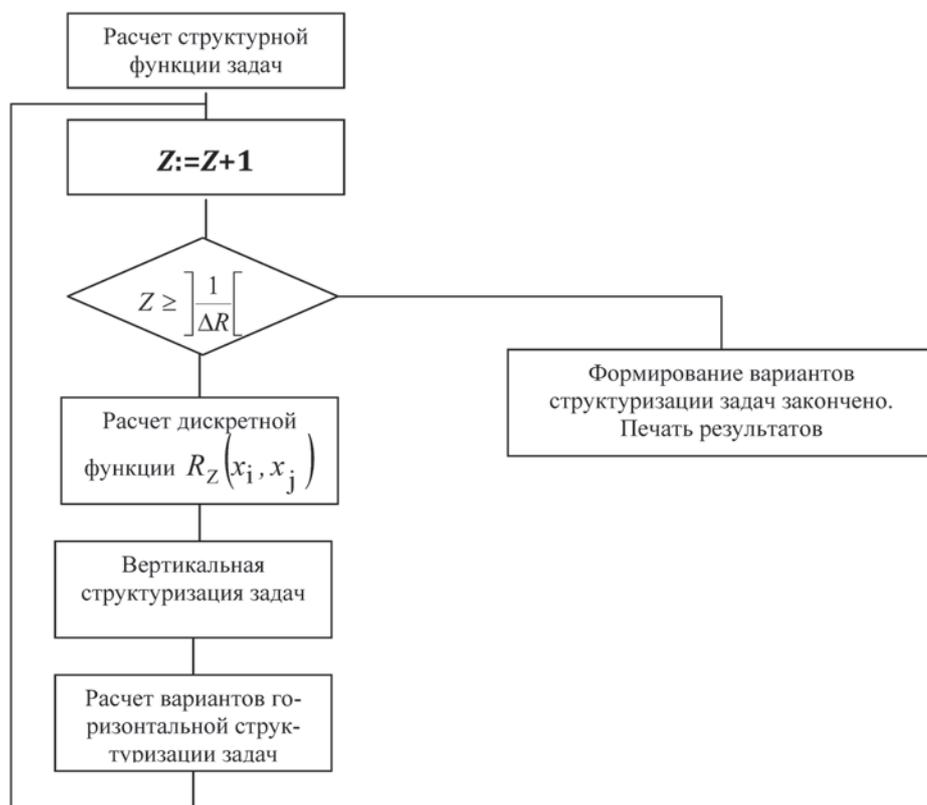


Рис. 2. Структурная схема взаимосвязи процедур генерации различных вариантов структуры УУТК

$$Y_Z(x_i, x_j) = \begin{cases} Y(x_i, x_j), & \text{если } R_Z(x_i, x_j) \geq 1 - Z \Delta R; \\ 0 & \text{— в противном случае} \end{cases}$$

д) К полученному графу $C_Z(X, Y_Z)$ применяются алгоритмы вертикальной, а затем горизонтальной структуризации.

При $Z =]1 / \Delta R[$ структурная функция множества X содержит только те связи между задачами, которые определяют их жесткую координацию (т. е. $R(x_i, x_j) = 1$) по выходу, входу, времени или по оператору преобразования. При $Z = 0$ $R_Z(x_i, x_j) \approx R(x_i, x_j)$, то есть в структурной функции сохраняется полная информация о взаимных связях задач управления. В результате, если при $Z_{\max} =]1 / \Delta R[$ структура связей задач минимальна, а следовательно, минимальны и их возможные структурные преобразования, по вертикали и горизонтали, то при $Z_{\min} = 0$ множество этих связей максимально, а следовательно, максимальны и возможные структурные параметры агрегированной модели взаимных связей задач.

При изменении параметра Z будет меняться и структура графа $G_Z(X, Y_Z)$ взаимных связей задач на Z -м шаге структуризации. Изменяя Z от Z_{\min} до Z_{\max} , представляется возможным на основе такой процедуры генерировать все допустимые для данного множества задач вариан-

ты их структуризации, а следовательно, и представить последовательно все допустимые варианты организации структуры УУТК.

Итак, математическая модель, предстает в виде множества векторов, на котором определена функция, задающая двумерные связи. На упорядоченном таким образом множестве векторов для каждого варианта определения дискретной функции связи $R_Z(x_i, x_j)$ последовательно решаются задачи вертикальной и горизонтальной структуризации. В результате решения этих задач определяются варианты вертикальной (иерархической) и горизонтальной структуризации подсистем УУТК. Вместе с тем, как это было указано выше, процедурам вертикальной и горизонтальной структуризации предшествует процедура выявления сильно связанных задач (процедура декомпозиции графа взаимных связей задач).

Заключение

Таким образом, реализация процедур генерирования различных вариантов группировки задач УУТК предполагает решение следующих вопросов:

выбор соответствующей методики оценки расстояний между отдельными задачами множества X ;

выбор соответствующей методики вертикальной (иерархической) структуризации задач;

выбор методики горизонтальной структуризации задач.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пророк В. Я. Основы построения и организации адаптивных систем профессионального отбора — С. Пб.: Лань, 2003. — 330 с.

2. Багрецов С. А., Львов В. М. Технология синтеза организационных структур сложных систем управления. — М.: Эргоцентр, 1998. — 224 с.

В. Я. Пророк

доктор технических наук, профессор

А. М. Зыков

кандидат технических наук, доцент

Д. О. Петрич

кандидат технических наук

А. А. Шульгин

кандидат технических наук

Е. А. Батурина

Военно-космическая академия имени А. Ф. Можайского

АДАПТИВНОЕ СОПРОВОЖДЕНИЕ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ КОМПЕТЕНЦИЙ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ

АННОТАЦИЯ. В данной статье рассматриваются модели формирования профессиональных компетенций обучающегося в процессе изучения дисциплины. Рассмотрена экспоненциальная модель, в которой показателем скорости формирования профессиональных компетенций являются природные задатки человека. При этом, чем длительнее обучение, тем выше уровень освоения профессиональных компетенций. С целью повышения скорости формирования профессиональных компетенций предлагается использовать адаптивные модели, позволяющие учитывать характеристические портреты обучаемого как в начале, так и в ходе процесса обучения.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: профессиональные компетенции, обучение, характеристический портрет, специалист, уровень подготовки, адаптивные модели, технология.

Введение

Формирования профессиональных компетенций в процессе изучения дисциплины зависит от многих факторов. Природные задатки каждого обучающегося индивидуальны и от них во многом зависит степень освоения профессиональных компетенций при изучении учебных дисциплин. При этом при традиционной форме обучения каждый обучаемый может овладеть профессиональными компетенциями за различное время. В реальности на изучение дисциплины, а следовательно и на формирование профессиональных компетенций, отводится строго фиксированное время. В этом случае для достижения наилучших результатов требуется учитывать характеристические портреты обучаемого как в начале, так и в ходе процесса обучения, и на их основе выполнять адаптацию хода обучения.

Экспоненциальная модель

В работе на основе простейшей модели рассмотрен процесс формирования профессиональных компетенций обучающегося в процессе изучения дисциплины. Безусловно, на начальном этапе анализа любая модель не может претендовать на получение надежных и достоверных количественных оценок. Но она может дать качественное представление о механизмах наблюдаемых явлений и далеко не очевидных причинно-следственных связях.

При описании процесса формирования профессиональных компетенций обучающегося естественно придется опираться на ряд упрощающих предположений.

В предлагаемой модели рассматривается вариант «массового» профессионального обучения

специалиста («типичный человек в типичных обстоятельствах»).

Изменение уровня формирования профессиональных компетенций обучающегося определяется временем, затраченным преподавателем и самим обучающимся.

Математическая психология и ее наиболее развитый раздел — теория обучения, утверждает, что процесс формирования профессиональных знаний, навыков и умений будет зависеть от времени следующим образом:

$$Q(t) = Q_{\text{н}} - (Q_{\text{с}} - Q_{\text{н}}) e^{-\alpha t},$$

где $Q_{\text{с}}$ и $Q_{\text{н}}$ — соответственно начальный и стационарный уровень профессиональной подготовки обучающегося;

α — коэффициент скорости формирования профессиональных компетенций обучающегося.

Психологические исследования показывают, что способности человека формируются и развиваются в процессе жизни. Но формируются они не на «голом месте». Природной предпосылкой способностей являются задатки, т. е. некоторые прирожденные особенности. Задатки каждого человека являются в высшей степени специфическими, уникальными, поскольку, как утверждает генетика, для человека характерен гигантский генетический полиморфизм. Каждый человек обладает такой специфической для него системой качеств, которая позволяет достигнуть высоких результатов в ряде профессий. В предлагаемой модели коэффициент α является определяющим показателем скорости формирования профессиональных компетенций обучающегося, а для специфических компетенций и показателем возможности овладения этими компетенциями. Отметим, что методика экспериментального определения этого коэффициента подробно обсуждается во многих статьях по теории обучения.

Геометрический смысл этого коэффициента поясняет рис. 1.

Из представленных графиков видно, что чем больше задатки для освоения рассматриваемых компетенций (больше коэффициент α) и чем длительнее обучение, тем выше уровень освоения профессиональных компетенций.

Как правило, время на формирование профессиональных компетенций строго ограничено и является постоянным. Исходя из этого, достичь требуемого уровня освоения профессиональных компетенций могут только обучающиеся с достаточно высоким коэффициентом α .

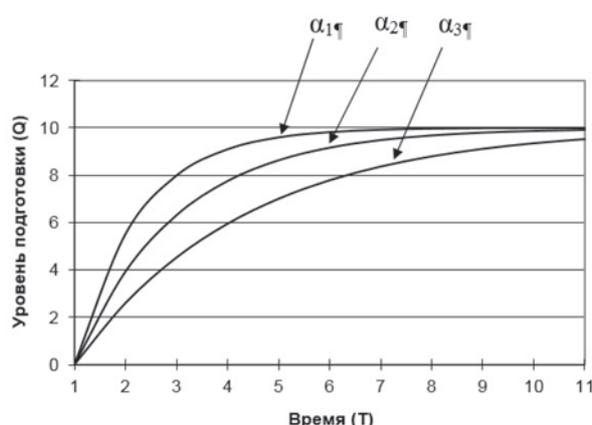


Рис. 1. Функция процесса формирования профессиональных компетенций обучающегося ($\alpha_1 = 0,8, \alpha_2 = 0,5, \alpha_3 = 0,3$)

Рассмотренная выше экспоненциальная модель формирования профессиональных компетенций обучающегося получила достаточно широкое распространение. Однако применение такой модели затруднительно при рассмотрении процесса формирования профессиональных компетенций обучающегося в связи с фиксированным временем на обучение.

Трансформационная модель

Как показали исследования Р. Аткинсона [1], Л. Брайена и Р. Вудвортса реальный процесс обучения не совпадает с монотонной экспонентой.

Овладев определенным набором знаний человек в процессе изучения дисциплины постоянно повышает свои знания и совершенствует навыки. На определенном промежутке времени происходит процесс перехода обучающегося на новый качественный уровень. Как правило, это связано с изучением определенного раздела дисциплины. Перед обучающимся возникают новые, как правило, более сложные задачи, решение которых требует дальнейшего обучения. Процесс изменения профессиональной подготовки обучающегося представлен на рис. 2.

Обучающийся с более низким коэффициентом α за отведенный промежуток времени не способен в полной мере освоить весь объем знаний, навыков и умений, необходимых для достижения требуемого уровня освоения профессиональных компетенций. При переходе к изучению более сложных разделов дисциплины процесс освоения новых знаний еще более усложняется из-за нехватки базовых знаний.

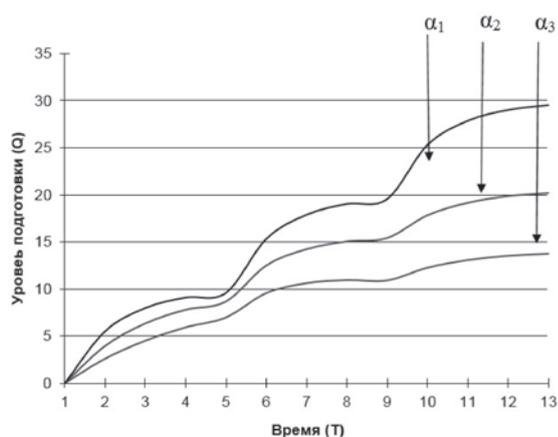


Рис. 2. Процесс изменения профессиональной подготовки обучаемого ($\alpha_1 = 0,8$, $\alpha_2 = 0,5$, $\alpha_3 = 0,3$)

В результате итоговый уровень формирования профессиональных компетенций обучающегося остается на достаточно низком уровне. Попытаться избежать подобной ситуации можно, увеличив время изучения дисциплины для обучающихся с более низкими способностями. Результаты проведенного анализа представлены на рис. 3.

Как видно из рисунка время необходимое для формирования профессиональных компетенций обучающихся с более низким коэффициентом профессиональных задатков в 2–3 раза больше, чем обучающихся с высоким коэффициентом. В предложенных примерах не учитывается тот случай, когда задатки обучающегося не позволяют ему в принципе освоить учебную дисциплину. В этом случае требуемый уровень формирования профессиональных компетенций

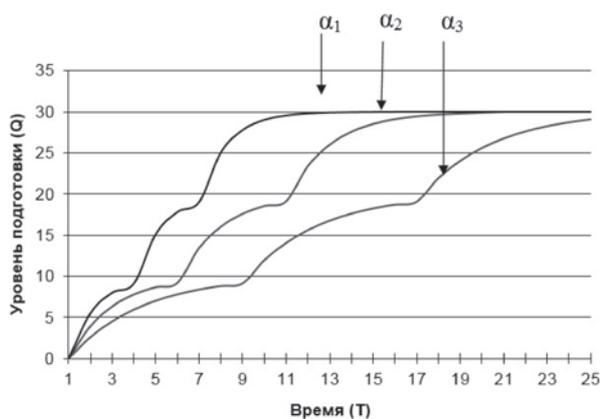


Рис. 3. Процесс изменения уровня подготовки обучающегося ($\alpha_1 = 0,8$, $\alpha_2 = 0,5$, $\alpha_3 = 0,3$) при неограниченном времени подготовки

не будет достигнут никогда и средства на обучение будут затрачены в пустую.

Рассмотренные выше положения в полной мере согласуются с «трансформационной» теорией, изложенной в работах В. Венды [2].

Любая сложная система может быть реализована посредством одной из дискретного ряда ее возможных структур. Этот закон относится к любой сложной системе, в том числе и к человеку. Применительно к человеку этот закон формулируется следующим образом.

Человек в процессе обучения реализует структуру-стратегию из набора возможных для него структур-стратегий. Разнообразие типов внутренних компонентов человека, системы и процессов взаимной адаптации между ними обуславливает возможность существования разных структур. В то же время наличие большого числа разнообразных компонентов обуславливает дискретный характер структур: варьирование (в частности, оптимизация) конкретной структуры — процесс непрерывный, а переход к другой структуре означает качественные изменения. Здесь сказывается действие закона перехода количества в качество.

Каждая структура-стратегия S_i имеет свои особые характеристические кривые $Q_i(F_j)$, где Q_i — эффективность формирования профессиональных компетенций при i -й структуре-стратегии. Фактор F может иметь различные трактовки и измерения. Он может быть представлен в виде параметров задач, решаемых обучающимся или в виде психологического фактора сложности решения интеллектуальных задач. В каждом случае необходим подбор достаточного числа составляющих, статистически достоверно определяющих значения и закономерность изменения критериев эффективности и сложности обучения. Характеристические кривые четырех стратегий, соответствующих стадиям формирования профессиональных компетенций обучающегося приведены на рис. 4.

Таким образом, эффективность формирования профессиональных компетенций описывается не единственной кривой, а набором из числа имеющихся у него структур-стратегий деятельности (S_i) и фактора (F).

Универсальность стратегии определяется интервалом значений ΔF , в котором она реализуется. Чем больше интервал, тем больше универсальность стратегии. Специализированность

стратегии определяется уровнем ее эффективности в основном интервале значений ΔF .

На основе закона структур-стратегий может быть сформулировано правило инвариантности интегральной эффективности системы обучения. При постоянном составе компонентов и их активности интегральная эффективность системы при всех ее возможных структурах-стратегиях постоянна, или

$$\int_{F_{\min}}^{F_{\max}} Q_i dF = \text{const.}$$

Трансформация одной структуры-стратегии системы в другую может происходить только через общее для обеих структур-стратегий состояние системы, отображаемое пересечением их характеристических кривых (гиперповерхностей).

Необходимо сделать примечание: поскольку $Q_i(F)$ есть величины случайные, то отображающие эти зависимости характеристические кривые (гиперповерхности) стратегий с учетом разброса значений случайных величин имеют форму «трубок»; таким образом, пересечение двух характеристических кривых (гиперповерхностей) отображается не точкой, а областью на плоскости или в многомерном пространстве. Причем состояния системы при трансформациях ее структур-стратегий при увеличении значений F и их уменьшении, т. е. при «прямых» и «обратных» трансформациях могут быть разными.

Другой важной оговоркой является непрерывность трансформации, т. е. сохранение неизменного состава компонентов системы при изменении ее структуры. Именно такой путь обеспечивает наибольшую экономичность и скорость трансформаций и общего прогресса системы. В соответствии с законом трансформаций новая структура не может быть порождена как таковая, а возникает только на базе предыдущей структуры путем частичной дезадаптации прежней структуры, достаточной для получения дополнительных, необходимых для постройки новой структуры степеней свободы компонентов системы. При этом сохраняется достигнутая при старой структуре взаимная адаптация части компонентов, которая соответствует новой структуре.

Например, переход обучающегося от одной структуры к другой включает в себя следующие этапы:

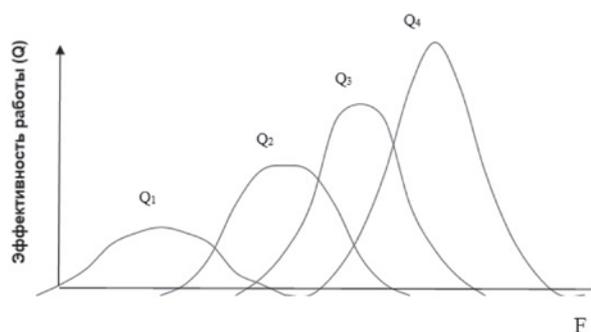


Рис.4. Характеристические кривые формирования профессиональных компетенций обучающегося:

Q_1 — характеристический портрет обучающегося; Q_2, Q_3 — промежуточные (фундаментальные, профилирующие) стратегии (навыки, умения); Q_4 — характеристический портрет специалиста

1) попытка применить старую стратегию в новых условиях работы;

2) если эта стратегия оказывается неэффективной, то возникает «стресс» — частичная поисковая взаимная дезадаптация (дивергенция) компонентов;

3) при определенной степени дивергенции компонентов достигается такой уровень степеней свободы, при котором возникает ассоциация (трансформационная точка) с новой структурой, и в случае, если у человека есть возможность задержаться в этом состоянии на время, достаточное для формирования новой структуры на базе остатков старой, человек переходит на эту новую структуру. Скорость трансформации зависит от степени достоверности, определенности и полноты прогноза формирования новой структуры и доли ее готовых блоков, содержащихся в прежней структуре.

Если структура стратегии S_i не имеет общих структурных элементов со структурой S_{i+n} и характеристическая кривая (гиперповерхность) ее стратегии S_i не пересекается с характеристической кривой (гиперповерхностью) стратегии S_{i+n} , то переход от структуры-стратегии S_i к S_{i+n} может происходить только путем последовательных трансформаций — переходов через промежуточные структуры-стратегии S_{i+1}, S_{i+2}, \dots до тех пор, пока не найдется такая структура S_{i+m} , которая имеет общие структурные элементы со структурой S_{i+n} , или пока характеристическая кривая (гиперповерхность) стратегии S_{i+m} не пересечется с характеристической кривой (гиперповерхностью) стратегии S_{i+n} . Если в качестве примеров стратегий взять знания, умения, мысли, образы памяти, то закон трансформаций

описывает образование новых знаний, выработку навыков и умений, их интерференцию между собой, переносы, построение умозаключений, познавательный прогресс, а также возникновение и роль ассоциаций в трансформации и связывании образов и мыслей. Любая новая мысль или технология не может быть сформирована на пустом месте, а получена только путем перехода от одной мысли или технологии к новой, взаимосвязанной, ассоциированной с предыдущей.

На основе сформулированных выше положений может быть построен обширный класс моделей и номограмм («квадриграмм») расчета адапционной динамики формирования профессиональных компетенций обучающегося. Идея таких моделей графически проиллюстрирована на рис. 5.

В квадранте I показаны характеристические портреты обучающихся различного уровня подготовки, где показана зависимость эффективности формирования профессиональных компетенций (Q) от значений фактора F и типа стратегии деятельности S_i .

В квадранте II представлен процесс отображения динамики повышения формирования профессиональных компетенций от затрат (материальных и временных) на его обучение. Эффективное значение E отражается человеком в виде некоторого субъективного образа (спо-

собности к обучению). Отношение F/E , является коэффициентом уровня задатков кандидата для освоения профессиональных компетенций (эквивалентно коэффициенту α).

В квадранте III показана динамика параметра $E(T)$, т. е. изменение затрат на обучение во времени.

В IV квадранте отражена динамика изменения уровня формирования профессиональных компетенций в процессе обучения.

Диаграмма адапционной динамики позволяет исследовать процессы формирования профессиональных компетенций при различных индивидуальных особенностях кандидатов (квадрант II), динамических характеристиках процесса обучения (квадрант IV), затратах на обучение.

Заключение

Из проведенного анализа видно, что затраты на формирование профессиональных компетенций у обучающегося с низкими задатками в несколько раз выше чем у обучающегося с высоким коэффициентом способностей. Как правило, время и средства, отводимые на обучение, строго ограничены. Вследствие этого при обучении без использования совершенных систем сопровождения формирования профессиональных компетенций часть из них не способна в полной мере освоить необходимый объем знаний, на-

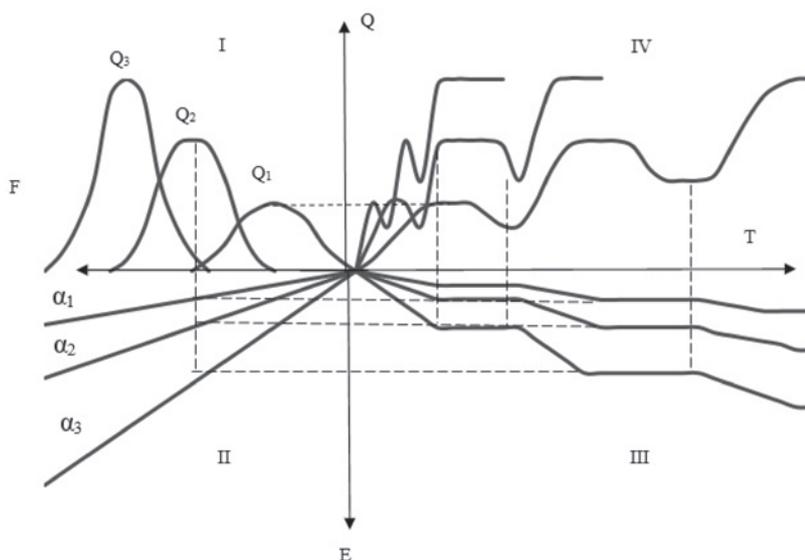


Рис.5. Квадриграмма адапционной динамики формирования профессиональных компетенций обучающегося.

Q_1, Q_2, Q_3 – характеристические портреты обучающегося в процессе его обучения; $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ – коэффициенты развития профессиональных задатков (α_1 – высокий, α_2 – средний, α_3 – низкий)

выков и умений и получить требуемые профессиональные компетенции.

Таким образом, для успешного формирования профессиональных компетенций обучающихся с различной начальной подготовкой не-

обходимо применять адаптивные методы обучения, позволяющие учитывать характеристические портреты обучающегося как на начальном этапе, так и в процессе формирования профессиональных компетенций.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Р. Аткинсон.** Введение в математическую теорию обучения: Пер. с англ. М.: Мир, 1969. — 488с.

2. **Венда В. Ф.** Системы гибридного интеллекта: Эволюция, психология, информатика. М.: Машиностроение, 1990.

В. И. Талагаев

Кандидат технических наук, доцент, профессор АВН, ПАО «Интелтех»

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД К АНАЛИЗУ И ОБЕСПЕЧЕНИЮ УСТОЙЧИВОСТИ СИСТЕМ МОРСКОЙ РАДИОСВЯЗИ

АННОТАЦИЯ. В работе отражены взгляды на разработку аппарата анализа и способов обеспечения устойчивости систем морской радиосвязи в условиях преднамеренных помех, спонтанных отказов технических средств, стихийного, или организованного разрушения береговых объектов связи. Выбраны обобщенные показатели и критерий количественной оценки устойчивости систем с учетом их помехозащищенности, живучести и надежности. Предложенный методологический подход может найти практическое применение при проведении исследований функциональных способностей систем морской радиосвязи, планировании и оперативном управлении связью, а также при создании информационно-аналитических средств поддержки принятия проектных и управленческих решений.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Система морской радиосвязи, мобильные морские объекты, устойчивость системы радиосвязи, живучесть объектов радиосвязи, помехоустойчивость радиоканалов системы, надежность радиоэлектронных средств, показатель и критерий устойчивости системы радиосвязи к деструктивным и дестабилизирующим воздействиям.

В системах управления морскими объектами гражданского и военного назначения основным средством обмена управляющей информацией остается радиосвязь, позволяющая создать разветвленную сеть стационарных береговых центров управления и связи с мобильными пространственно рассредоточенными надводными и подводными объектами, и летательными аппаратами. Вместе с тем из всех видов связи радиосвязь наиболее подвержена воздействию естественных и преднамеренных помех на радиоканалы (РК), разрушительным стихийным и преднамеренным воздействиям на береговые объекты связи, и отказам радиоэлектронных компонентов.

Перечисленные факторы, действуя совместно или раздельно, могут приводить к снижению качества функционирования систем радиосвязи (СРС) и, как следствие, к ухудшению управления морскими объектами. Поэтому одной из важных проблем при создании морских СРС становится обеспечение стабильности, устойчивости их качественных характеристик в условиях разного рода внешних и внутренних деструктивных и дестабилизирующих факторов.

Отдельные аспекты устойчивости морских СРС нашли отражение в работах, посвященных вопросам обеспечения их живучести, надежно-

сти и помехозащищенности (помехоустойчивости) /1–7/. Сложность исследования и создания морских СРС, устойчивых к комплексному воздействию дестабилизирующих факторов, обусловлена в значительной степени отсутствием единой методологии анализа их устойчивости, включающей вопросы анализа качества и способностей СРС с заданной структурой и параметрами, и синтеза структуры и параметров систем с заданными свойствами: устойчивостью, живучестью и надежностью.

В лингвистической формулировке /5, 8/ устойчивость — это способность технической системы сохранять свои функции (т. е. функции, которые и определяют данную систему как единое целое) при воздействии сильных возмущающих факторов. В морских СРС возмущения могут возникать спонтанно (отказы технических средств) и в результате разрушений береговых объектов связи природного характера, или преднамеренного воздействия со стороны других противоборствующих систем, а также воздействия естественных и преднамеренных помех на РК системы.

Основной целевой функцией СРС является обеспечение обмена управляющей информацией береговых объектов связи с морскими объектами с требуемым качеством (достоверностью

и оперативностью). В соответствии с этим устойчивость СРС может быть определена как способность поддерживать требуемое при управлении объектами качество обмена информацией при случайном выходе их строя ненадежных радиосредств, преднамеренном помеховом воздействии на РК и поражении береговых объектов системы.

С формальной, математической точки зрения такая способность формулируется следующим образом: техническая система при ограниченных воздействиях устойчива, если ее реакция на эти воздействия так же ограничена. Применительно к морским СРС это означает, что система может обеспечить требуемое качество информационного обмена $K_{тр}$ только при ограниченных поражениях сооружений связи, подавления РК помехами и отказах ненадежных радиоэлектронных компонентов системы $D_{возд}$. Воздействия приводят к снижению качества информационного обмена $K_{функ}$ на величину $\Delta K_{возд}$, равную

$$\Delta K_{возд} = \Delta K_{разр} + \Delta K_{рэп} + \Delta K_{над},$$

где $\Delta K_{разр}$, $\Delta K_{помех}$ и $\Delta K_{надеж}$ — снижение качества информационного обмена вследствие стихийного, или преднамеренного разрушения береговых сооружений связи, подавления РК помехами и отказов ненадежных элементов системы соответственно.

При увеличении степени поражения элементов СРС выше некоторой величины $D_{уст}$ (границы устойчивости) и соответствующем снижении качества функционирования на величину $\Delta K_{возд}$ система деградирует, т. е. качество информационного обмена $K_{функ}$ ухудшается и перестает удовлетворять требуемому $K_{тр}$ для эффективного управления объектами. Условие устойчивости СРС определяется неравенствами:

$$\begin{cases} K_{функ} - \Delta K_{возд} \geq K_{тр} & \text{— система устойчива,} \\ K_{функ} - \Delta K_{возд} < K_{тр} & \text{— система не устойчива.} \end{cases} \quad (1)$$

В соответствии с существующими лингвистическими и формальными определениями СРС, работающая в реальном времени и обладающая свойством устойчивости должна быть способна:

— противостоять определенному (до $D_{уст}$) поражению объектов связи и подавлению РК помехами, т. е. быть защищена адекватно (или выше) степени возможного воздействия (иными

словами: степень защиты должна быть не ниже степени воздействия $D_{уст} \leq D_{возд}$);

— компенсировать разрушения береговых объектов и РК помехами с целью поддержания требуемого качества информационного обмена $K_{тр}$, или максимально возможного $\max(K_{функ} - \Delta K_{возд})$ при неограниченном воздействии $D_{возд} > D_{уст}$;

— локализовать отказы ненадежных технических средств, т. е. обнаруживать и устранять последствия отказов ранее, чем под их влиянием на качество информационного обмена $K_{функ}$ становится ниже требуемого $K_{тр}$;

— обеспечивать постепенное снижение качества информационного обмена в системе при прогрессирующем (не ограниченном $D_{возд} > D_{уст}$) поражении и отказах электронных компонентов с целью их своевременной компенсации.

Как следует из (1) придание СРС свойства устойчивости, т. е. защищенности и способности компенсации и локализации поражений и отказов элементов, возможно за счет введения в нее различных видов избыточности (структурной, функциональной и технической) относительно минимально необходимого ее состава, обеспечивающего требуемое качество информационного обмена $K_{тр}$ при отсутствии воздействий ($K_{функ} = K_{тр}$), или относительно снижения качества функционирования за счет воздействия $\Delta K_{возд}$. Величина повышения качества информационного обмена за счет внесения избыточности относительно $K_{тр}$ или $\Delta K_{возд}$ равна соответственно:

$$\begin{aligned} K'_{изб} &= K_{функ} - K_{тр}, \\ K''_{изб} &= K_{функ} - \Delta K_{возд}. \end{aligned} \quad (2)$$

Для иллюстрации влияния избыточности $K'_{изб}$ и $K''_{изб}$, вносимой в систему, на ее устойчивость на рисунке 1 приведены кривые, характеризующие качество функционирования $K_{функ}$ в системе без избыточности ($K_{изб} = 0$) рисунок 1а и в избыточной ($K_{изб} > 0$) системе рисунок 1б от степени воздействия (поражения и отказов компонентов системы) $D_{возд}$.

Как следует из рисунка 1 устойчивость (зона устойчивости $D_{возд} \leq D_{уст}$) системы определяется величиной вносимой избыточности и требованиями к качеству информационного обмена. При этом устойчивость тем выше, чем больше величина вносимой избыточности и ниже требования к качеству функционирования, и чем

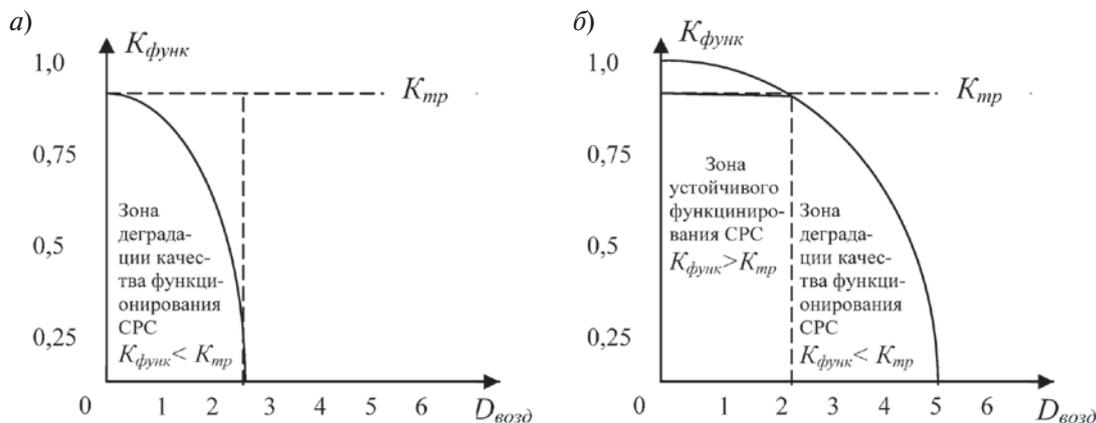


Рис. 1

медленнее ухудшается качество при увеличении степени воздействия. В соответствии с этим количественной характеристикой устойчивости системы с учетом (1) и (2) могут служить показатели:

$$S''_{изб} = \frac{K'_{изб}}{\Delta K_{возд}},$$

$$S''_{уст} = \frac{K''_{изб}}{K_{тр}},$$

а их сопоставление с некоторым требуемым для эффективного управления объектами значением устойчивости $S_{уст. тр}$ — критерием устойчивости системы связи $S_{уст} \geq S_{уст. тр}$. Вносимая в систему избыточность приводит к удорожанию системы, поэтому величина избыточности должна быть адекватной (соответствовать) степени прогнозируемого воздействия и требованиям к качеству информационного обмена, т. е. $K'_{изб} = \Delta K_{возд} \cdot S_{уст}$. С учетом этого критерий устойчивости системы (1) упрощается и приобретает вид $S_{уст} = 1$.

Если учесть, что локализация, восстановление и введение резерва связи осуществляется с течением времени и степень воздействия так же может изменяться во времени, можно перейти от точечной оценки устойчивости к динамической, характеризующей изменение показателя устойчивости во времени.

Структурная, функциональная и техническая избыточность может вноситься в систему в виде соответствующей организации структуры и алгоритмов ее функционирования, т. е. путем использования пассивных и активных организационно — технических мероприятий обеспечения живучести, помехозащищенности и на-

дежности [1–9]. Пассивные меры основаны на выборе и применении структуры системы и элементов с защищенностью, превышающей необходимую при отсутствии воздействий и соответствующей степени возможного поражения. Эти меры могут быть реализованы путем:

- затруднения (вплоть до исключения) обнаружения всеми видами разведки работы береговых и морских объектов системы и возможности организации дестабилизирующих воздействий, в частности, путем использования мобильных подсистем и объектов;

- повышение до уровня возможного поражающего воздействия защиты стационарных береговых объектов связи от поражающих факторов;

- структурного и функционального резервирования системы и ее элементов, т. е. создания основной и резервной подсистем связи, а также использования систем связи других ведомств;

- дублирование РК, использование в системе многофункциональных комплексов связи различных диапазонов и радиосредств повышенной помехозащищенности (до уровня возможного воздействия), оптимального выбора и использования частотного ресурса, и пространственно и частотно разнесенных передач и приема информации;

- функционального резервирования ненадежных технических средств и их элементов.

Активные меры обеспечения устойчивости основываются на активном воздействии на структуру со стороны системы управления связью, т. е. связаны с возможностями перестройки избыточной структуры системы, изменение алгоритмов ее функционирования и режимов

работы ее связного ресурса, диагностикой и восстановлением отказавших элементов в процессе поражений и отказов с целью их компенсации и локализации. Активные меры могут реализовываться в системе за счет оптимизации управления системой и ее элементов с целью ее адаптации к воздействиям, т. е. перевода системы из одного устойчивого состояния в другое. Таким образом, необходимая устойчивость достигается применением пассивных и активных мероприятий, направленных на повышение защищенности системы связи и ее элементов от всех видов воздействий и варьированием (целенаправленным изменением) избыточной структурой при состоявшихся поражениях и отказах ее элементов.

Отличительной особенностью современных методов исследования, проектирования сложных адаптивных систем и оперативного управления ими является автоматизация этих процессов на основе использования ЭВМ, требующая специального программного и информационного обеспечения. Речь, таким образом, идет о предоставлении исследователям, проектировщикам и операторам связи набора программных средств, позволяющих адаптировать разрабатываемые и существующую СРС к внешним воздействиям, т. е. выбирать оптимальные с точки зрения устойчивости структуры систем с учетом влияния средств помехового воздействия, разрушений береговых объектов связи и снижения надежности технических средств.

Такая адаптация СРС с целью обеспечения устойчивости достигается путем изменения ее внутреннего состояния адекватно разрушительным воздействиям на береговые объекты связи, средств создания помех РК и техническому состоянию радиосредств. Практически изменение внутреннего состояния сводится к изменению структуры системы и ее параметров, т. е. к перераспределению потоков сообщений и связных ресурсов, к которым относятся основные и резервные средства связи и режимы их работы. При этом рекомендации по изменению структуры исследователю, проектирующему перспективную систему, и должностному лицу связи (оператору), управляющему действующей системой, могут быть выработаны в результате программного (на ЭВМ) решения двух задач /11/:

— расчетной задачи анализа (определения и сравнения с требуемой) устойчивости системы

с заданными параметрами при текущих (заданных) внешних воздействиях;

— расчетно—логической задачи выбора перспективного варианта структуры и параметров системы, обеспечивающего максимальную (оптимальную) устойчивость с учетом текущих (заданных) и прогнозируемых (задаваемых моделями) внешних воздействий.

Решение первой задачи заключается в оценке устойчивости (в данном состоянии) структуры системы с учетом матриц текущего поражения объектов связи и радиоканалов оружием и помехами и выхода из строя технически ненадежных средств и сравнении ее значения с предельно допустимыми (требуемыми). Эта оценка является комплексной и проводится на основе расчета надежности технических средств, помехозащищенности радиоканалов и живучести объектов, составляющих систему. При снижении устойчивости ниже требуемого уровня исследователем или оператором связи должно приниматься решение об изменении структуры и переводе СРС в новое перспективное состояние. Определение необходимой структуры, при которой обеспечивается максимальная (оптимальная) устойчивость — вторая расчетно—логическая задача, решаемая с учетом не только текущих, но и прогнозируемых внешних воздействий. В общем виде задача относится к классу экстремально поисковых и может быть решена методами математического программирования /16/.

Поскольку СРС является сложной динамической системой, полная формализация процессов, происходящих в ней, и их строгий анализ вызывают значительные трудности, то для решения расчетной и расчетно — логической задачи на этапе исследований и оперативного управления СРС целесообразно использовать экспертные и информационно-аналитические системы /9/. Экспертная система в данном случае — это совокупность программных средств, обеспечивающих проведение анализа устойчивости и выдачу рекомендаций по выбору оптимальной структуры СРС в условиях текущего и прогнозируемого внешних воздействий. Такой анализ и рекомендации основаны на опыте экспертов, способных сделать оценки устойчивости и выдвинуть вполне надежные предложения по оптимизации структуры при неполной информации об СРС, внешнем воздействии на нее и условиях ее функционирования и при отсут-

ствии формальных средств их описания. Несмотря на субъективный характер, знания экспертов имеют общую ценность, поскольку содержат все, что хотя бы частично осознано, но еще не сформулировано в строгой форме.

Информационно-аналитическая система представляет собой совокупность программных средств, позволяющих исследователю или оператору связи решать задачи анализа и оптимизации по их постановке и описанию в терминах радиосвязи не пользуясь услугами профессиональных программистов. Для такой системы характерно наличие модели СРС, моделей внешних воздействий и условий функционирования и программы — планировщика вычислений. Использование информационно-аналитических системы делает доступной для исследователя и оператора связи реализацию прикладных математических методов расчета на ЭВМ в целях анализа устойчивости и выбора наилучшей структуры СРС в процессе ее разработки и функционирования, т. е. изменения интенсивности потоков, характера внешних воздействий и оперативно — тактической ситуации.

Для решения расчетной и расчетно-логической задач необходимо располагать изменяющимися данными о состоянии СРС, т. е. о подавлении РК системы преднамеренными помехами,

разрушении объектов связи и оборудования, техническом состоянии радиосредств. Для решения второй задачи, кроме того, необходимо располагать постоянной информацией, т. е. моделями потенциально возможного разрушения береговых объектов связи, помехового воздействия на РК СРС и др. Требования к исходным данным для решения задач адаптации СРС, необходимым при проведении исследований и оперативном управлении системой, различаются. При исследованиях важна полнота учета возможных оперативно — тактических ситуаций и адекватность расчетно-логических моделей реальным условиям функционирования СРС, а при управлении действующей СРС — оперативность (быстрота) принятия решения по изменению структуры системы. Поэтому при проведении исследований и проектировании СРС данные о внешних воздействиях могут быть получены с помощью их имитаторов, а при оперативном управлении — датчиков состояния технических средств, объектов и каналов связи. Эти сведения могут храниться в единой базе данных, служащей основой информационного обеспечения решения расчетной и расчетно-логической задач.

Характер внешних воздействий определяется внешней обстановкой в которой находятся объекты, поэтому при решении обеих задач адаптации



Рис. 1

СРС к условиям функционирования учитывать оперативно—тактическую ситуацию (состав, пространственное расположения и действия морских объектов и противоборствующей стороны). При проведении исследований и проектировании СРС оперативно — тактическая ситуация может быть задана в виде набора сценариев действий морских объектов и храниться в единой базе данных, а в действующую СРС может вводиться извне в ее информационно-аналитическую систему от системы освещения оперативно — тактической обстановки.

Укрупненная структура программных средств анализа и обеспечения устойчивости СРС приведена на рисунке 2.

Структура включает совокупность программных информационно-аналитических средства численной оценки разнородных свойств СРС на моделях и базу данных о текущем и прогнозируемом СРС, необходимых при выборе структуры системы и ее параметров и принятии решений

ТЕХНИКА СРЕДСТВ СВЯЗИ, № 3 (143), 2018
устойчивости с учетом устойчивости в условиях внешних и внутренних деструктивных и дестабилизирующих факторов.

Для примера отдельные программные модули анализа свойств и выбора параметров структуры и режимов функционирования СРС в условиях различных видов воздействий приведены в /10–15/.

Предложенные методологический подход к анализу устойчивости СРС с мобильными морскими объектами в условиях разнородных деструктивных воздействий, и состав программных информационно-аналитических средств, позволяющих производить обобщенную оценку устойчивости СРС и вырабатывать рекомендации по выбору ее наилучшей структуры, могут быть использованы при проведении исследований, проектировании системы, планировании связи и оперативном управлении системой в реальных условиях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Защита от радиопомех. Под ред. М. В. Максимова. — М.: Сов. радио, 1976.
2. Бусленко Н. П. Моделирование сложных систем. — М.: Наука, 1978.
3. Крапивин В. Ф. О теории живучести сложных систем. — М.: Наука, 1978.
4. Чумаков Н. М., Серебряный Е. И. Оценка эффективности сложных технических устройств. — М.: Советское радио, 1980.
5. Надежность и живучесть систем связи. По ред. Б. Я. Дудника. — М.: Радио и связь, 1984.
6. Березюк Н. Т., Галушин А. Я., Подлесный Н. И. Живучесть микропроцессорных систем управления. — Киев: Техника, 1989.
7. Сигорский В. П. Математический аппарат инженера. — Киев.: Техника, 1977.
8. Талагаев В. И. Устойчивость системы морской радиосвязи». Указатель поступлений информационных материалов, ЦИВТИ МО СССР, вып. 6 (33), 1991.
9. Талагаев В. И. «Методологический подход к оценке свойств системы связи ВМФ». Сборник рефератов депонированных рукописей, ЦСИФ МО РФ, серия Б, вып. 42, 1977.
10. Талагаев В. И., Лебедев Д. В. «Выбор безопасных рабочих частот для ДКМ каналов связи в условиях радиоразведки и радиоэлектронного подавления». Доклад на научно-технической конференции «Теоретические основы применения ВМФ в сетевых войнах». Тематический научно-технический сборник ФГУП «24 ЦНИИ МО», Санкт-Петербург, 2011.
11. Талагаев В. И., Талагаева Ю. В. Интеллектуальные телекоммуникационные системы. Доклад на научно-технической конференции «Интегрированные автоматизированные системы управления», Реферативный журнал, ВИНТИ РАН, № 11, Москва, 2011. (Сборник докладов, ФНЦП ОАО «НПО «Марс», г. Ульяновск, 15–17 марта 2011 г.).
12. Талагаев В. И., Лебедев Д. В. Программа выбора рабочих частот связи в ДКМ диапазоне v.1.0». Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2011614529, ФГУ ФИПС, Москва, 2011.
13. Гавриленко С. А., Талагаев В. И., Лебедев Д. В. Программа оценки помехозащищенности направленной связи с морскими объектами v.1.0. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2013614725, ФГУ ФИПС, Москва 2013.
14. Талагаев В. И. Обобщенная модель для анализа потенциальных возможностей радиоразведки // Техника средств связи. 2018. № 1. С. 288–291.
15. Талагаев В. И., Лебедев Д. В. Обобщенная модель для анализа потенциальных возможностей радиоразведки. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014611242, ФГУ ФИПС, Москва, 2013.
16. Евтушенко Ю. Т. Методы решения экстремальных задач и их применении в ситуациях. М.: Наука, 1982.

С. Г. Андреев

кандидат технических наук

Е. Г. Голов

Военная академия войсковой противовоздушной обороны Вооруженных Сил Российской Федерации имени Маршала Советского Союза А. М. Василевского, г. Смоленск

МЕТОДИКА ПОВЫШЕНИЯ УРОВНЯ ПОДГОТОВЛЕННОСТИ ОПЕРАТОРОВ ЗРК НА УТС

АННОТАЦИЯ. Постановка проблемы: проведение исследований предусматривало выработку требований, предъявляемых к структуре и содержанию методики повышения уровня подготовленности операторов зенитных ракетных комплексов на учебно-тренировочных средствах в интересах повышения эффективности боевой подготовки. В работе проведено обоснование необходимости использования методики повышения уровня подготовленности операторов зенитных ракетных комплексов на учебно-тренировочных средствах, что существенно повысит качество подготовки операторов за счет увеличения значения коэффициента уровня подготовленности обучаемых, что в конечном итоге повысит эффективность ЗРК в целом.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: методика повышения уровня подготовленности, операторы ЗРК, учебно-тренировочные средства, лицо принимающее решения, вариант управляющих воздействий, зенитный ракетный комплекс.

Одним из проблемных вопросов современной боевой подготовки войск ПВО Сухопутных войск является организация эффективного управления качеством деятельности обучающихся, которое заключается в планировании требуемой динамики изменения показателей качества их деятельности в ходе боевой подготовки, определении рассогласования между требуемым и текущим уровнем подготовленности отдельных военнослужащих и боевых расчетов и принятии решений ЛПР на изменение управляющих воздействий для обучающихся.

Управляющими воздействиями в этом случае являются состав и структура проводимых с операторами тренировок, формирующих требуемые навыки и умения ведения боевой работы на вооружении и технике с привлечением авиации или на тренажерах и боевых средствах. В связи с этим очевидна особая роль использования современных систем автоматизированной оценки (САО) в составе ЗРК, способных на новом качественном уровне оценить уровень подготовленности подразделений, вооруженных ЗРК.

Рассматривая модель автоматизированной оценки деятельности специалистов боевых

средств ЗК БД [2, 5, 6], видно, что она разработана с использованием усовершенствованной методики оценивания боевой работы операторов зенитных комплексов войсковой ПВО с определением уровня подготовленности. Данная методика, разработанная кандидатом технических наук Семенко И. Б. (защитил диссертацию на тему «Модель автоматизированной оценки уровня подготовленности операторов боевых машин ЗРК БД с использованием базы данных результатов»), позволяет осуществлять учет качества выполнения достаточного количества операций боевой работы оператором БМ ЗРК БД и их взаимное влияние на результат стрельбы ЗРК «Стрела-10» [5]. В целях систематизации оценочных показателей деятельности операторов при стрельбе по ВЦ, составляющих основу методики кандидата технических наук Семенко И. Б., они были классифицированы по группам.

Группа № 1 — это оценочные показатели за выполнение оператором операций боевой работы, при совершении ошибок в которых за выполнение стрельбы по ВЦ выставляется итоговая оценка «неудовлетворительно» (учет ошибок 1-й категории).

Группу № 2 составляют оценочные показатели за выполнение оператором операций боевой работы, при совершении ошибок в которых за выполнение стрельбы по ВЦ выставляется итоговая оценка со снижением на 1 балл (учет ошибок 2-й категории).

Фиксация категорий ошибок и их количества за выполнение отдельных операций (процедур) боевой работы позволяют сформировать соответствующие частные оценки, которые определяют значения итоговой оценки обучающемуся специалисту.

Ошибка 1-й категории — ошибка, приводящая к невыполнению боевой задачи. Ошибки 1-й категории недопустимы.

Ошибка 2-й категории — ошибка, приводящая к снижению вероятности поражения ВЦ и др., а также каждая из них снижает итоговую оценку на 1 балл.

В группу № 3 входят уточненные оценочные показатели выполнения оператором операций боевой работы, формирующие величины предварительных (комплексных оценок): X_{k1} — оценка за качество выполнения операций (процедур) боевой работы при стрельбе по ВЦ; X_{k2} — количественная оценка за результат стрельбы по ВЦ с учетом допущенных нарушений правил стрельбы.

Величина итоговой оценки боевой работы оператора определяется с учетом значений комплексных оценок X_{k1} и X_{k2} (пункт 1 методики повышения уровня подготовленности операторов ЗК БД), представленной в приложении А. Формирование значения итоговой оценки деятельности специалиста боевых средств ЗК БД за N-е количество стрельб определяется выражением 1:

$$X_{и_N} = \frac{\sum_{r=1}^m X_{k1} \times \mu_r(x_{n_i}) + \sum_{r=1}^m X_{k2} \times \mu_r(x_{n_i})}{\sum_{r=1}^m \mu_r(x_{n_i})}, \quad (1)$$

где X_{k1} — оценка за качество выполнения операций (процедур) боевой работы при стрельбе по ВЦ;

X_{k2} — количественная оценка за результат стрельбы оператора по ВЦ с учетом допущенных нарушений правил стрельбы.

Статистическое накопление результатов выполнения стрельб по ВЦ оператором производится в модуле учета результатов выполнения

N-го количества стрельб в виде матрицы, описывающей множество полученных итоговых оценок за всю серию стрельб, которое в виде среднего арифметического итоговых оценок $X_{ср.а}$ на этапе анализа и документирования результатов транслируется на модуль оценки уровня подготовленности оператора. При этом необходимо отметить, что оценка уровня подготовленности оператора за выполнение N-го количества стрельб Y (пункт 2 методики повышения уровня подготовленности операторов ЗРК на УТС) (рисунок 1) находится в зависимости от множества оценок $X_{и}$, полученных оператором.

На основании экспертных оценок справедливо выражение, определяющее $U_{у.п}$ критерий уровня подготовленности одиночного военнослужащего из состава подразделения, реализованный в модуле оценки уровня подготовленности оператора

$$U_{у.п} = \begin{cases} X_{N_{ср.а}} \geq 4, U_{в} \\ 2,5 \leq X_{N_{ср.а}} < 4, U_{с} \\ X_{N_{ср.а}} < 2,5, U_{н} \end{cases}, \quad (2)$$

где $X_{N_{ср.а}}$ — среднее арифметическое оценок, выставленных оператору за N-е количество стрельб по ВЦ;

$U_{в}$, $U_{с}$, $U_{н}$ — высокий, средний и низкий уровень подготовки подразделения.

Кроме того, на величину Y важное влияние оказывает уровень слаженности подразделения, который согласно Курса стрельб может быть определен критерием $U_{н}$ в соответствии с выражением:

$$U_{с.п} = \begin{cases} X_{N_{ср.а}} \geq 3,9, S_{отл} \\ 3,3 \leq X_{N_{ср.а}} < 3,9, S_{хор} \\ 2,7 \leq X_{N_{ср.а}} < 3,3, S_{уд} \\ X_{N_{ср.а}} < 2,7, S_{неуд} \end{cases}, \quad (3)$$

где $S_{отл}$, $S_{хор}$, $S_{уд}$, $S_{неуд}$ — оценка соответствующая отличному, хорошему, удовлетворительному и неудовлетворительному уровню слаженности подразделения.

При этом, необходимо учитывать дополнительные условия, влияющие на величину $\mathcal{E}_{с.п}$, — это наличие предельного для каждого уровня количества неудовлетворительных оценок,

в случае превышения которого уровень слаженности подразделения может быть снижен. Величина оценки уровня подготовленности операторов Y отражается на индикаторе оценки уровня подготовленности операторов.

Таким образом, разработанная кандидатом технических наук Семенко И. Б. модель автоматизированной оценки уровня подготовленности операторов БМ ЗРК БД позволяет получать частные оценки за выполнение всего множества операций (процедур) боевой работы операторов при стрельбе по ВЦ с требуемой точностью, комплексные и итоговую оценку (1) за стрельбу j -м оператором с высокой степенью достоверности [1, 3, 4].

Все это позволяет значительно повысить качество оценки операторов БМ в ходе стрельб на существующих и перспективных ЗРК БД, обеспечивая проведение точного и эффективного анализа результатов занятий и стрельб в целях формирования эффективных управляющих воздействий на военнослужащих, что в конечном итоге положительно скажется на процессе боевой подготовки подразделений вооруженных ЗРК БД и приведет к увеличению эффективности стрельбы ЗРК.

Используя частные оценки за выполнение всего множества операций (процедур) боевой работы операторов при стрельбе по ВЦ, комплексные и итоговую оценку (1) за стрельбу j -м оператором, возможно определить необходимые управляющие воздействия на оператора ЗРК для дальнейшей его боевой подготовки.

В соответствии с действующими директивными и нормативными документами Министерства обороны РФ: «Курс стрельб соединений, частей и подразделений войсковой ПВО ВС РФ (2008 г.)»; «Сборник нормативов по боевой подготовке Сухопутных войск (2011 г.)»; «Правила стрельбы и боевой работы на зенитных ракетных комплексах войск противовоздушной обороны Сухопутных войск (2011 г.)» в настоящее время определены методические подходы к определению оценки результатов выполнения операций боевой работы (нормативов) военнослужащими, в том числе установлены критерии и условия ее формирующие. Так за выполнение операций боевой работы (отработку нормативов по захвату, обстрелу воздушной цели (ВЦ) специалистами боевых средств ЗРК БД) определяется по среднеарифметическому баллу и выставляется:

— оценка «отлично», если среднеарифметический балл полученных оценок за выполнение операций боевой работы (отработку нормативов) выше или равен 4,6;

— оценка «хорошо», если среднеарифметический балл полученных оценок за выполнение операций боевой работы (отработку нормативов) выше или равен 3,6, но ниже 4,6.

— оценка «удовлетворительно», если среднеарифметический балл полученных оценок за выполнение операций боевой работы (отработку нормативов) выше или равен 2,6, но ниже 3,6.

— оценка «неудовлетворительно», если не выполнены требования на оценку «удовлетворительно».

Исходя из этого, и воспользовавшись существующей моделью автоматизированной оценки уровня подготовленности операторов боевых машин ЗРК БД с использованием базы данных результатов стрельб, и зная порядок оценивания специалистов боевых средств ЗРК, представляется возможным определить оценку (границы значения) уровня подготовленности обучаемого специалиста Y_i (пункт 3 методики повышения уровня подготовленности операторов ЗРК на УТС) (рисунок 1). В результате моделирования были получены следующие данные:

высокий уровень подготовленности специалиста будет соответствовать значению $V_B \geq 0,71$;

средний уровень подготовленности специалиста будет находиться в пределах $0,45 \leq V_{cp} < 0,71$;

низкий уровень подготовленности специалиста будет соответствовать значению $V_H < 0,45$.

Для анализа значения уровня подготовленности обучаемого специалиста используются данные результатов N -о количества стрельб хранящиеся в специализированной базе данных.

Также, для реализации пункта 4 разработанной методики (рисунок 1), необходимо учитывать и категорию обучаемого специалиста боевых средств ЗРК, $Q_{сп}$. В результате исследований определены следующие категории обучаемых специалистов: молодой специалист, специалист в конце курса боевой подготовки и специалист с утерянными навыками. Необходимость учета категории обучаемых специалистов обуславливается тем, что каждый специалист имеет разный уровень подготовки, поэтому молодому специалисту необходимо для дальнейшей его боевой подготовки предлагать более легкие упражнения по обстрелу ВЦ, что актуально и для специалиста с утерянными навыками. Это связано с тем,

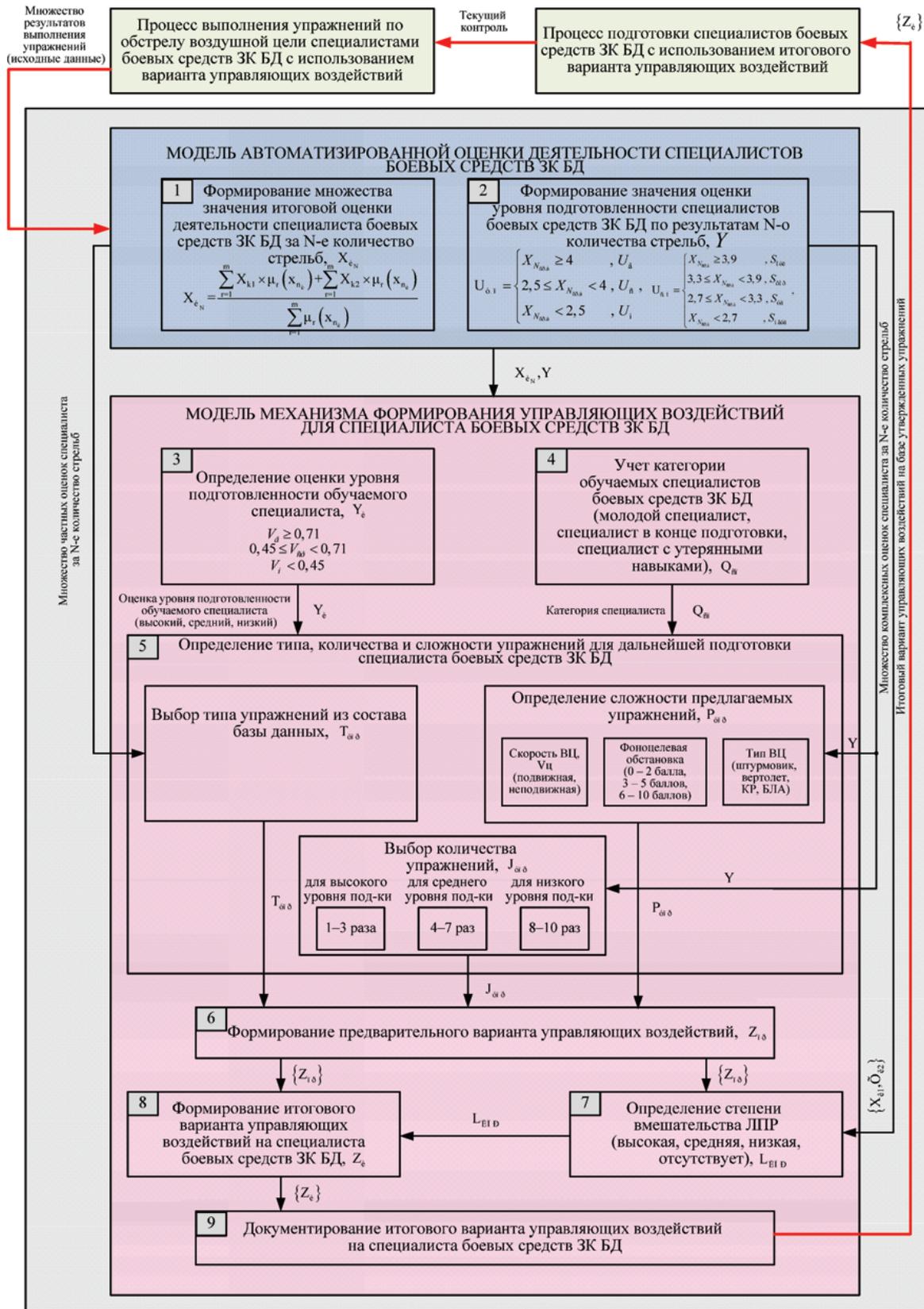


Рис. 1. Методика повышения уровня подготовленности операторов ЗПК на УТС

что специалисту необходимо восполнить утраченные знания, умения и навыки. При этом очевидно, что обучаемому специалисту в конце курса боевой подготовки необходимо предлагать упражнения более сложного характера.

После определения уровня подготовленности обучаемого специалиста и учитывая его категорию (молодой специалист, специалист в конце курса боевой подготовки, специалист с утерянными навыками) возможно определить необходимые упражнения (тип, уровень сложности, количество) для дальнейшей его подготовки и устранения ошибок, полученных специалистом в ходе боевой работы (пункт 5 разработанной методики повышения уровня подготовленности операторов ЗРК на УТС) (рисунки 1). При этом следует отметить, что в целях определения оптимального множества (набора) упражнений для дальнейшей подготовки обучаемого специалиста необходимы значения полученных им ранее частных оценок за выполнение N -о количества стрельб, которые позволят определить перечень совершенных специалистом ошибок деятельности, а значит и множество конкретных операций (процедур) боевой работы, требующих дополнительных тренировок. Особенно множество частных оценок специалиста за N -е количество стрельб будет влиять именно на выбор типа упражнений, $T_{упр}$. Определение типа упражнений будет формироваться с использованием специализированной базы данных с помощью инструментария теории нечетких множеств. База данных упражнений при необходимости может изменяться, в нее могут вноситься различные упражнения, необходимые для дальнейшей подготовки специалиста боевых средств ЗРК в зависимости от вида комплекса.

Таким образом, на начальном этапе работы механизма управляющих воздействий определяется тип упражнений, уровень сложности и количество упражнений, необходимых специалисту для дальнейшей подготовки. Соответственно высокому уровню подготовленности специалиста будет соответствовать высокий уровень сложности упражнений, среднему уровню подготовленности — средний уровень сложности упражнений, низкому уровню подготовленности — низкий уровень сложности. При этом необходимо учесть, что в зависимости от категории обучаемых специалистов, не всегда уровень их подготовленности будет соответ-

ствовать уровню сложности предлагаемых упражнений. Так например, специалист с утерянными навыками боевой работы, может случайно выполнить отдельные операции (процедуры) боевой работы с высокими показателями, что не будет соответствовать его реальному уровню подготовленности.

Определение уровня сложности предлагаемых упражнений ($P_{упр}$) для дальнейшей подготовки специалиста боевых средств ЗРК, происходит путем определения конкретных упражнений для выполнения в ходе дальнейшей боевой подготовки, с учетом их уровня сложности. Уровень сложности упражнений может выбираться по трем составляющим: скорость воздушной цели (подвижная, неподвижная), фоноцелевая обстановка (измеряется в баллах от одного до десяти), тип воздушной цели (штурмовик, вертолет, крылатая ракета (КР)), беспилотный летательный аппарат (БЛА). Так например, специалисту, имеющему низкий уровень подготовленности будет соответствовать такой уровень сложности упражнений, в котором:

- типом воздушной цели будет являться вертолет;

- скорость воздушной цели будет менее 1 м/с, то есть ВЦ неподвижна;

- фоноцелевая обстановка будет находиться в пределах от 0 до 2 баллов, что соответствует ясной, безоблачной погоде, ведению боевой работы в беспомеховой обстановке, в пустынной (степной) местности и т. п.;

специалисту, имеющему высокий уровень подготовленности, будет соответствовать уровень сложности упражнений в котором:

- типом воздушной цели будет являться штурмовик, КР или БЛА;

- скорость воздушной цели будет более 1 м/с (подвижная ВЦ);

- фоноцелевая обстановка будет находиться в пределах от 6 до 10 баллов, что соответствует фоновой обстановке с резкими разрывами в облаках, подсвечиваемые солнцем, ведение боевой работы в условиях применения противником помех, в горной, лесистой местности, в темное время суток и т. п.

Соответственно специалисту, имеющему средний уровень подготовленности, будет соответствовать уровень сложности упражнений со средними значениями.

Также, учитывая уровень подготовленности специалиста боевых средств ЗРК, будет определяться и количество необходимых упражнений, $J_{\text{упр}}$. При этом очевидно, что чем ниже уровень подготовленности обучаемого специалиста, тем большее количество упражнений ему необходимо для дальнейшего обучения. Определение количества упражнений происходит по следующим параметрам: при высоком уровне подготовленности специалиста боевых средств ЗРК количество упражнений будет равно 1–3 раза; при среднем уровне подготовленности специалиста количество упражнений будет равно 4–7 раз; соответственно низкому уровню подготовленности специалиста количество упражнений будет равно 8–10 раз.

В результате множество предлагаемых оператору ЗРК упражнений с уже определенным типом, количеством и сложностью, формируют предварительный вариант управляющих воздействий, $Z_{\text{упр}}$ пункт 6 разработанной методики (рисунок 1), который предлагается ЛПП для анализа. Также для полного анализа подготовленности специалиста ЛПП учитывает полученные специалистом множество комплексных оценок (количественные и качественные оценки деятельности), полученных им за выполнение N -о количества стрельб. Проанализировав эти данные, ЛПП определяет степень своего вмешательства, (пункт 7 разработанной методики повышения уровня подготовленности операторов ЗРК на УТС) (рисунок 1), $L_{\text{ЛПП}}$ (высокая, средняя, низкая, отсутствует) по изменению предложенных системой наборов управляющих воздействий (упражнений). В соответствии с этим определение степени вмешательства ЛПП будет соответствовать тому, что:

ЛПП откажется от предложенных упражнений и самостоятельно выберет необходимые упражнения для дальнейшей подготовки обучаемого специалиста (специалист будет отрабатывать упражнения, предложенные руководителем занятия — тренажа);

ЛПП согласится с предложенными упражнениями, но внесет значительную их корректировку (специалист будет отрабатывать упражнения, предложенные механизмом формирования управляющих воздействий, но зна-

чительно отредактированных руководителем занятия — тренажа);

ЛПП согласится с предложенными упражнениями, но внесет незначительную их корректировку (специалист будет отрабатывать упражнения, предложенные механизмом формирования управляющих воздействий, но незначительно отредактированных руководителем занятия — тренажа);

ЛПП согласится с предложенными упражнениями (специалист будет отрабатывать упражнения, предложенные механизмом формирования управляющих воздействий).

В конечном итоге будет сформирован итоговый вариант управляющих воздействий на оператора ЗРК, $Z_{\text{и}}$ с учетом вмешательства ЛПП (пункт 8 разработанной методики повышения уровня подготовленности операторов ЗРК на УТС) (рисунок 1). Итоговый вариант управляющих воздействий после документирования исходных данных, предназначенных для визуализации и документирования процесса оценивания результатов стрельб ЗРК и формирования оптимального множества управляющих воздействий на обучаемых специалистов в целях оказания помощи, ЛПП в принятии решений в ходе дальнейшей боевой подготовки подразделений будет предложен оператору ЗРК для его дальнейшей боевой подготовки.

Вывод. Использование разработанной методики повышения уровня подготовленности операторов ЗРК на УТС (рисунок 1), ключевым звеном которой является механизм формирования множества управляющих воздействий при подготовке специалистов боевых средств ЗРК, реализованной на базе УТС, позволит в автоматизированном режиме существенно повысить качество подготовки операторов ЗРК за счет увеличения значения коэффициента уровня подготовленности обучаемых, что в конечном итоге повысит эффективность ЗРК в целом. Таким образом, методика повышения уровня подготовленности оператора ЗРК на УТС может быть использована при разработке соответствующей компьютерной модели в интересах совершенствования программного обеспечения УТС современных и перспективных ЗРК.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Андреев С. Г., Герасимов О. В.** Методические подходы к оценке результатов стрельбы зенитных комплексов войсковой ПВО. СПб., Москва; Центр военно-научной информации, сборник рефератов, 2011. Вып. 95. Серия Б. Инв. В7290.
2. **Андреев С. Г.** Модель автоматизированной оценки деятельности специалистов сложных технических систем. СПб., Смоленск;. Математическая морфология, СГМА, 2009. Вып. 4. Том 10. Инд. номер — № 0421100004/0049.
3. **Андреев С. Г., Герасимов О. В.** Методические подходы к оценке результатов стрельбы зенитных комплексов войсковой ПВО. СПб., Москва; Центр военно-научной информации, сборник рефератов, 2011. Вып. 95. Серия Б. Инв. В7290.
4. **Неделько В. Н., Щербина Ю. В.** Проблемы оценки уровня профессиональной подготовленности курсантов на авиационных тренажерах. Сп-б., Радиоэлектронные компьютерные системы, 2007. Вып. 6 (25).
5. Свидетельство о регистрации электронного ресурса № 17276. Андреев С. Г., Герасимов О. В., Семенов И. Б. // Государственная академия наук. Российская академия образования. Объединенный фонд электронных ресурсов «Наука и образование» института научной информации и мониторинга Российской академии образования. Модель автоматизированной оценки деятельности операторов сложных технических систем специального назначения. М., Дата регистрации 14.07.2011.
6. **Андреев С. Г., Герасимов О. В., Семенов И. Б.** Модель автоматизированной оценки деятельности операторов сложных технических систем специального назначения. СПб., Электронный журнал «Хроники объединенного фонда электронных ресурсов «Наука и образование», 2011. Вып. 7.

УДК 37.0:004 (075.8)

В. Н. Будко

кандидат педагогических наук, профессор

А. С. Чернецкая

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

МОДЕЛЬ ПРИМЕНЕНИЯ ПРИКЛАДНОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЛИНГВООРИЕНТИРОВАННОЙ КОМПЬЮТЕРНОЙ ВОЕННОЙ ИГРЫ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ СВЯЗИ

АННОТАЦИЯ. В статье рассмотрена роль технологии телекоммуникационных проектов в повышении коммуникативных компетенций специалистов связи. Обосновано применение лингвоориентированной компьютерной военной игры в языковой подготовке курсантов и слушателей магистратуры военного вуза. Представлена ее концептуальная модель применения. Дана целевая установка на моделирование игрового занятия. Проанализированы основные виды обеспечения занятия, подвергаемые дальнейшему развитию: техническое, лингвистическое, программное, информационное и методическое.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: лингвоориентированная компьютерная военная игра, коммуникативные компетенции, справочный контент, электронный глоссарий, лингвистическое обеспечение, языковая подготовка, методы обучения.

Введение

Осознание необходимости владения хотя бы одним иностранным языком (ИЯ) пришло в наше общество. Любому специалисту, если он хочет преуспеть в своей области, знание ИЯ жизненно важно. А для военного специалиста на фоне расширения международного войскового сотрудничества стран участниц ОДКБ, военно-промышленного сотрудничества предприятий оборонной отрасли, а также активного участия российских войск в миротворческих операциях под эгидой ООН и антитеррористических коалициях по поддержанию мира в приграничных с Россией территориях важно вдвойне. Сегодня в некоторых военных вузах вводятся еженедельные единые дни иностранного языка, когда в течение дня военнослужащие говорят исключительно на одном из изучаемых иностранных языках. Принимая во внимание особую значимость языкового образования в современном мире при прозрачности границ и стирании языковых барьеров, применительно к военнослужащим необходимо гово-

рить о языковой подготовке. Языковая подготовка предполагает формирование не менее трех взаимосвязанных компетенций [1, 2]: языковой (лингвистической), речевой и коммуникативной. При этом, говоря о профессиональной языковой подготовке военнослужащего, перечень компетенций необходимо дополнить аналитической, стратегической, профессиональной, социокультурной и др. компетенциями. Положительную роль в мотивации языковой подготовки играет и действующее законодательство о материальном стимулировании военнослужащих за знание одного и более ИЯ. В связи с этим, в последние годы у курсантов и слушателей военных вузов интерес к изучению ИЯ растет. Тем не менее, по-прежнему, основными трудностями в военной высшей школе являются недостаток активной устной практики в расчете на каждого обучающегося группы, а также отсутствие необходимой индивидуализации и дифференциации обучения ИЯ [3, 4].

Цель обучения иностранному языку в военном вузе — овладение коммуникативной

компетенцией, т. е. предусматривается обучение не столько системе языка (лингвистической компетенции), сколько практическому овладению ИЯ. При этом обучать следует таким образом, чтобы в процессе овладения иноязычной речевой деятельностью в сознании обучающегося формировалась система языка. Важно обеспечить возможность индивидуализации и дифференциации обучения с учетом способностей обучающегося, его уровня обученности, интереса к изучению ИЯ, склонностей. Здесь речь идет о необходимости реализации личностно-ориентированного подхода в обучении языку [3, 5], что относится к гуманистическому направлению в педагогике. Основным принцип данного подхода в обучении состоит в том, что в центре обучения должен находиться обучающийся, а не преподаватель, деятельность познания, а не преподавания. Это полностью отвечает и специфике предмета ИЯ. Если мы обучаем практическому владению тому или иному виду речевой деятельности, то обучать этому можно лишь через практику в этом виде деятельности. Другими словами, на занятии большую часть времени должны практиковаться обучающиеся, а не преподаватель, как это подчас бывает.

Целью статьи является рассмотрение метода телекоммуникационных проектов, и такой его разновидности как лингвоориентированная компьютерная военная игра, в языковой подготовке курсантов и слушателей магистратуры военного вуза, а также выявление практических рекомендаций по внедрению этого вида занятия (научной конференции) в современной высшей школе в контексте дальнейшей информатизации военного образования.

Телекоммуникационные проекты в изучении иностранного языка

Под учебным телекоммуникационным проектом — лингвоориентированная компьютерная военная игра (ЛКВИ) в статье понимается совместная учебно-познавательная, творческо-языковая деятельность курсантов и слушателей магистратуры по решению учебных задач в соответствии с их специальностью подготовки, как индивидуально, так и в группе, организованная на основе компьютерных телекоммуникаций, имеющих общую проблему, цель, а также согласованные методы, способы коммуникативной деятельности, направленные на достижения общего результата по решению вводных плана

наращивания обстановки по этапам проведения занятия на основе выбранного рабочего языка.

Существенная модернизация учебно-материальной базы военных вузов, произошедшая в последние годы, а также активное и повсеместное внедрение компьютерных технологий в практику изучения ИЯ позволила шире применять метод телекоммуникационных проектов в языковой подготовке военнослужащих [1, 4, 6]. Сегодня для поддержания высокой мотивации и интереса к изучению ИЯ курсантов и слушателей магистратуры преподаватель-лингвист отказывается от готовых методических рецептов, жестко регламентирующих деятельность в рамках конкретной методической системы, в пользу анализа современной ситуации обучения иностранным языкам и эффективного использования новых информационных технологий (НИТ) в учебном процессе. Диапазон использования компьютера в учебном процессе очень велик [1, 3, 4, 6, 7], и не случайно уже на протяжении пяти последних лет в программу проведения всеармейской олимпиады по иностранному языку включен обязательный этап — видеоконференция вузов-участников.

К сожалению, на данный момент, обучение ИЯ в военном вузе в основном носит искусственно-учебный характер в силу отсутствия у курсантов на этапе обучения «естественной потребности» в общении на иностранном языке. В связи с этим перед преподавателями кафедр ИЯ военных вузов стоит задача создания обстановки иноязычного речевого общения в процессе обучения языку, максимально приближенной к естественным условиям. Современные информационно-телекоммуникационные технологии позволяют создать такие условия на занятии. Наибольший интерес для преподавания ИЯ вне языковой среды и организации реальной коммуникации представляет использование ресурсов Интернет, поскольку дает дополнительные возможности общения на изучаемом языке. Здесь реальная коммуникация может осуществляться как в синхронном, так и в асинхронном режимах с использованием различных форматов. Наиболее распространенным является текстовый формат в асинхронном (электронная почта) и синхронном режимах (chat), что не исключает использования аудио- и видео-форматов — также в синхронном (видеоконференции) и асинхронном режимах (голосовая почта, пересылка звуковых и видеофайлов).

Обоснование внедрения лингвоориентированной компьютерной военной игры в образовательный процесс военного вуза

На кафедре ИЯ Военной академии связи (ВАС) постоянно идет поиск новых путей совершенствования языковой подготовки военных специалистов на основе внедрения НИТ. Применительно к военному вузу, осуществляющему подготовку специалистов и магистров, а также переводчиков в сфере профессиональной коммуникации приемлема такая разновидность телекоммуникационного проекта как лингвоориентированная компьютерная военная игра.

Внедрению в образовательный процесс военного вуза, и, в частности, ВАС, такого нового вида занятия как ЛКВИ способствуют:

наличие преподавательского, инженерно-технического состава, владеющего глубокими знаниями и практическими навыками в применении НИТ;

непрерывное совершенствование материально-технической базы академии и кафедры ИЯ, увеличение количества современного мультимедийного оборудования аудиторного фонда на основе производительных ПЭВМ;

ориентированность современного курсанта (слушателя) на позиционирование себя в роли члена нового информационного общества, осознание деятельной частью общества, в том числе и военными, значения «информационной грамотности» в профессиональном и служебном росте, что создает условия для внутренней мотивации обучаемых к восприятию и усвоению НИТ;

имеющийся опыт проектирования и разработки электронных учебников, учебных пособий, обучающих программ и интерактивных курсов [8–13], вошедших в электронный учебно-методический комплекс кафедры и применяемых в качестве информационно-справочной системы данного вида занятия;

Опыт освоения и внедрения новых информационных технологий целесообразно представить в виде апробированных форм подготовки и тех принципов, руководствуясь которыми педагог вправе рассчитывать на успех в достижении целей обучения. Во внедрении НИТ в систему языковой подготовки целесообразно исходить из определенных принципов и положений.

Во-первых, в процессе обучения должен быть обеспечен комплексный подход к использованию компьютерных и обычных технологий. Ав-

торы отдают себе отчет о важности и первичности испытанных способов передачи знаний и опыта на основе бумажных и «некомпьютерных» технологий. Владение НИТ, способность адаптироваться к обеспеченности занятия, создают необходимые педагогу чувство самодостаточности и уверенность в процессе обучения.

Во-вторых, в новых условиях подготовки преподаватель должен владеть базовыми (и не только) информационными технологиями, основу которых составляет базы данных, гипертекст, разработка анимации, управление звуком и видео, электронная почта, удаленное управление и т. д. Другими словами, современному преподавателю уже недостаточно освоения общепризнанного и в большинстве случаев достигнутого уровня компьютерной грамотности в объеме умения управлять базовыми средствами операционной системы и применять общее прикладное программное обеспечение для разработки текстов и презентаций.

В-третьих, достигаемый в процессе профессионального роста уровень освоения НИТ должен быть открытым для всех участников обмена знаний предметной области. Недопустима интеллектуальная инкапсуляция вводимых инновационных методик от оценок и критических замечаний коллег.

В-четвертых, в процессе поиска и внедрения инновационных форм и методов целесообразно активно привлекать курсантов в рамках военно-научной работы к разработке программного обеспечения. Опыт показывает, что личный пример в демонстрации высокотехнологичных приемов решения профессиональных задач находит отклик в сознании большинства курсантов, вызывает у них чувство профессиональной гордости и желание освоить новые технологии.

Каждая предметная область объективно «притягивает» определенный кортеж информационных технологий. Для языковой подготовки основу применения НИТ составляет лингвоориентированная база данных предметной области. На кафедре ИЯ разработана и постоянно пополняется база данных объектов различного вида: электронные учебно-методические комплексы по всем дисциплинам кафедры; электронные учебники; тестово-диагностические программы; динамические слайды; презентации; видеофильмы; фотографии; схемы. Это создает предпосылки для качественной подготовки преподавателя и курсанта (слушателя)

к ЛКВИ, обеспечивает педагогу возможность выбора информационного обеспечения занятия, исходя из особенностей учебной группы.

При этом по количеству участников проекта ЛКВИ для занятий наиболее приемлемы групповые проекты, в которых принимает участие группа с распределением ролей, как на этапе подготовки, так и в ходе наращивания обстановки, в соответствии с выдаваемыми по телекоммуникационной сети вводными преподавателя (посредника игры) и подготовкой решения по ним обучающимися с использованием информационно справочной системы кафедры, представления презентационных материалов и непосредственно защита выработанного группой решения с использованием средств мультимедиа.

Данный вид занятия предполагает в обязательном порядке наличие подготовительного этапа, когда факультативно и в часы самостоятельной работы преподаватель совместно с обучающимися разрабатывают тематические задания предстоящей ЛКВИ, а также информационно-справочные материалы для возможных вариантов их применения в зависимости от перечня вводных, включаемых в план наращивания обстановки компьютерной игры.

По продолжительности проведения телекоммуникационного проекта [1, 4, 6] в зависимости от поставленных целей и темы выделяют: краткосрочные ЛКВИ (на одно двухчасовое занятие, завершающее обучение в семестре и предшествующее зачету) для всех групп подготовки; средней продолжительности (четырёхчасовое занятие, как правило, междисциплинарное, содержащее решение крупной проблемы) для участников всеармейских и международных лингвистических олимпиад; долгосрочные (шестичасовое занятие, решающее несколько связанных проблем), как правило, для групп переводчиков в сфере профессиональной коммуникации при подготовке к государственному экзамену.

Целевая установка на моделирование игрового цикла ЛКВИ

Исходя из вышеизложенного целевую установку на реализацию игрового цикла ЛКВИ можно сформулировать в следующем виде: повышение качества владения иностранным языком (ИЯ) военнослужащими на основе совершенствования системы языковой подготовки выпускника военного вуза за счет внедрения

компьютерных обучающих систем, а также совершенствование методических, лингвистических и системно-технических основ разработки и применения компьютерных форм подготовки офицеров-связистов.

Актуальность данных исследований определяется: усилением требований к языковой подготовке военнослужащего в современных условиях международных отношений и возрастанию агрессии стран блока НАТО на границах России и приграничных регионах; отсутствием практического опыта и, следовательно, методического аппарата по применению компьютерных форм языковой подготовки офицеров; необходимостью развития системно-технических основ разработки технического, лингвистического, программного и информационного обеспечения компьютерных форм языковой подготовки курсантов.

Научная новизна исследований заключается в том, что: результат является частью научно-методической основы создания компонентов перспективного специального прикладного программного обеспечения автоматизированных систем обучения военного назначения; предложена и практически обоснована технология моделирования лингвоориентированной компьютерной военной игры на основе применения общего прикладного программного обеспечения.

Практическая значимость проводимых исследований заключается в повышении уровня профессиональной обученности и эффективности языковой подготовки выпускника военно-технического вуза за счет применения новых педагогических и информационных технологий [10].

Методологическая значимость проводимых исследований заключается: в развитии методических основ применения автоматизированных обучающих систем на основе компьютерных технологий в системе языковой подготовки специалиста связи; в формировании условий развития информационной культуры преподавателя военного вуза, способного осознать и применить новые компьютерные технологии в инновационной педагогической деятельности.

При решении задач развития компьютерных форм языковой подготовки основными видами обеспечения, подвергнутыми развитию стали *программное, техническое, лингвистическое информационное и методическое* (рис. 1).



Рис. 1. Структура лингвоориентированной компьютерной военной игры

Рис. 1. Структура лингвоориентированной компьютерной военной игры

Таким образом, в результате проведения исследований должны быть подготовлены предложения по внедрению ЛКВИ в систему языковой подготовки военнослужащих ВС РФ и в учебный процесс дисциплин кафедры ИЯ военного вуза. При этом в ходе исследования необходимо: определить виды компьютерных обучающих систем (КОС), применимых на ЛКВИ (общее и специальное прикладное программное обеспечение) [8–13]; предложить состав технического (аппаратного) обеспечения КОС; сформулировать предложения по применению КОС в системе языковой подготовки выпускника военно-технического вуза; сформировать содержание языковой подготовки с применением КОС.

Разработка концептуальной модели применения прикладного программного обеспечения ЛКВИ

В результате исследований предложена и практически обоснована технология применения общего прикладного программного обеспечения (ОППО) для натурального моделирования игрового цикла ЛКВИ. В данной модели предложен вариант применения имеющегося программного и аппаратного обеспечения для решения задачи перевода бумажных технологий в обучении ИЯ на качественно новый информационно-методический уровень. Концептуальная модель применения средств ОППО представлена на рис. 2. Для повышения качества проведения ЛКВИ необходимо ее моделирование в специализированных классах.

В ходе исследования была сформирована и практически апробирована система общего прикладного программного обеспечения (ОППО), состав и структура которой представлена на рис. 3. На данном рисунке приведена модель применения общего прикладного программного обеспечения для реализации игрового цикла ЛКВИ и его место в общей структуре компьютерной военной игры через взаимосвязь с лингвистическим (электронный контент), методическим (замысел проведения ЛКВИ, функции обучаемого, функции руководителя), техническим и информационным обеспечением.

В структуру системы ОППО можно включить такие основные прикладные офисные программы Microsoft (MS) как MS Visio, MS Power Point, MS Outlook, MS Internet Explorer, MS Excel и другие.

В ходе исследований в структуру подсистем прикладного программного обеспечения для проведения ЛКВИ были включены следующие подсистемы: подсистема обмена сообщениями; подсистема хранения и каталогизации вводных; информационно-справочная подсистема; подсистема поддержки разработки и представления решения; подсистема дистанционного управления и контроля рабочих мест; подсистема учета оценки знаний.

Большое значение для информированности педагога о разрабатываемых и применяемых в высшей военной школе НИТ играет творческая связь с офицерами и сотрудниками лингвистического центра ВС РФ (Военный университет

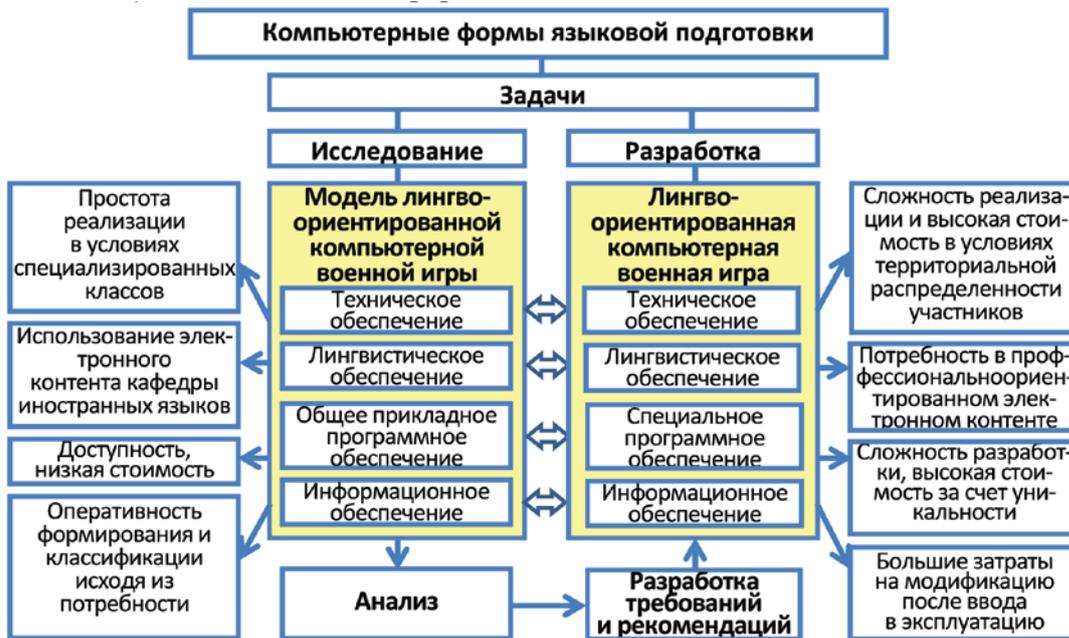


Рис. 2. Концептуальная модель применения средств ОППО

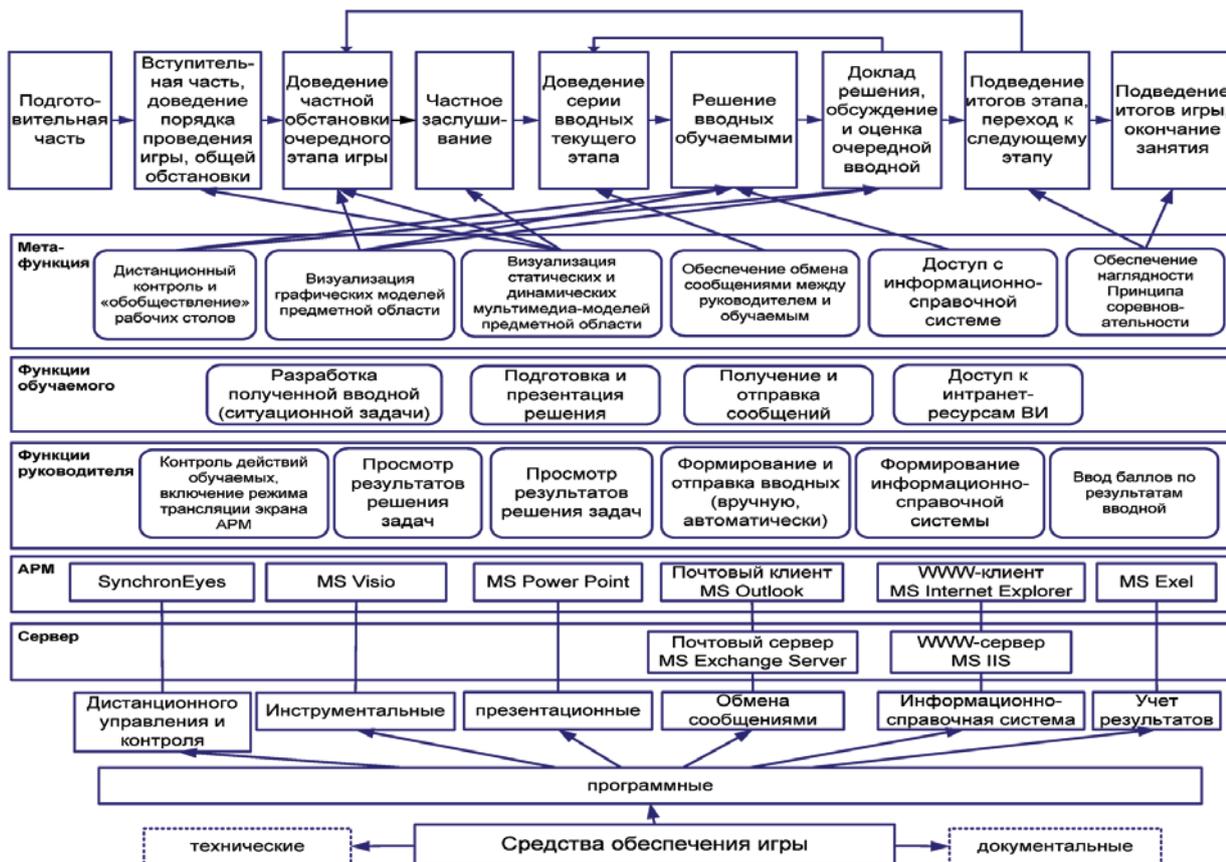


Рис. 3. Модель применения общего прикладного программного обеспечения для реализации игрового цикла компьютерной игры

МО), являющегося единым координационным научно-методическим центром МО РФ по вопросам языковой подготовки, переподготовки и повышения квалификации, а также организации и реализации лингвистического обеспечения международной деятельности МО РФ.

Заключение. Таким образом, разработка и внедрение новых форм и методов использования новых информационных технологий в системе языковой подготовки выпускников военно-технического вуза является одной из задач педагогической деятельности преподавателя-лингвиста. Качество ее решения определяется различными факторами, понимание и учет которых обеспечивают каждому педагогу успех в реализации своих замыслов, что в конечном итоге обеспечивает качественную подготовку офицеров-связистов.

Предлагается развернуть работу по формированию методологических и схемотехнических основ лингвоориентированной компьютерной военной игры по дисциплине «Иностранный язык». Данный вид занятия, по сути, является высшей формой применения НИТ в системе

языковой подготовки специалистов связи. Анализ проведения олимпиад по ИЯ с курсантами и слушателями на кафедре, а также опыт участия команды Военной академии связи во всероссийских и международных лингвистических конференциях показывает правильность выдвигаемых предположений о востребованности проведения данного вида занятий. Проводимые научные конференции по замыслу ЛКВИ получают высокую оценку обучающихся за информационно-технологическую насыщенность и игровую активность. С другой стороны, преподавательский состав получает педагогические результаты, анализ которых позволяет в будущем устранить недостатки в подготовке и проведении этого вида занятия.

Исходя из возможностей вуза при решении задач развития компьютерных форм в ходе языковой подготовки основными видами обеспечения, подвергаемые развитию стали программное, техническое, лингвистическое, информационное и методическое. Данные виды обеспечения лингвоориентированной компьютерной военной игры будут подробно рассмотрены в следующей статье.

ЛИТЕРАТУРА

1. Будко В. Н. Телекоммуникационные проекты в развитии коммуникативной компетенции // Информационные технологии. 2006. Т. 4. № 4. С. 82–86.
2. Будко В. Н., Будко П. А. Образовательные компетенции как фактор формирования готовности выпускника школы к обучению в вузе // Наука. Инновации. Технологии. 2008. № 4. С. 116–123.
3. Полат Е. С., Бухаркина М. Ю. и др. Новые педагогические и информационные технологии в системе образования / Под ред. Е. С. Полат. — М.: Академия, 2005. — 272 с.
4. Будко В. Н. Телекоммуникационные проекты в практике преподавания иностранного языка в вузе // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Гуманитарные и общественные науки. 2011. Т. 2. № 124. С. 51–54.
5. Будко В. Н., Будко П. А. Качество образования: как его достичь? // Наука. Инновации. Технологии. 2010. № 2. С. 72–76.
6. Будко В. Н. Телекоммуникационные проекты в обучении иностранному языку // Школьные технологии. 2008. № 5. С. 91–94.
7. Потапова Р. К. Новые информационные технологии и лингвистика. — М.: Едиториал УРСС, 2004. — 320 с.
8. Будко В. Н., Чернецкая А. С., Баранова Е. В. Реализация диагностических тестов в процессе изучения иностранных языков. В сборнике: Science XXI century Proceedings of materials the international scientific conference. 2015. С. 415–426.
9. Будко В. Н., Мишин Д. Ю., Трегубова Т. А. Тестирующий программный комплекс готовности студентов и школьников к обучению в вузе. // Информационные технологии. 2007. Т. 5. № 3. С. 167–169.
10. Будко П. А., Будко В. Н., Винограденко А. М., Тимошенко Л. И. Активизация образовательного процесса путем внедрения компьютерных средств и информационных технологий обучения. Ставрополь: СВИС РВ, 2010. — 140 с.
11. Будко В. Н., Будко П. А., Тимошенко Л. И. Глоссарий англоязычных терминов по информационным технологиям. Учебное пособие. — Ставрополь: ООО «Бюро новостей», 2015. — 180 с.
12. Будко В. Н., Будко П. А., Тимошенко Л. И. Глоссарий англоязычных терминов по ЭВМ и периферийным устройствам. Учебное пособие. — Ставрополь: СКФУ, 2015—167 с.
13. Будко В. Н., Будко П. А. Глоссарий англоязычных терминов по вычислительным сетям и сетевым технологиям. Учебное пособие. — Ставрополь: ООО «Бюро новостей», 2015. — 170 с.

ТЕХНИКА СРЕДСТВ СВЯЗИ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

№3 (143). 2018

Компьютерная верстка *Е. А. Типцовой*
Дизайн обложки: Шаутин Д.А.
Поддержка сетевой версии журнала: Лебедев Д.В.

Налоговая льгота — Общероссийский классификатор продукции
ОК 005-93, т. 2; 95 3004 — научная и производственная литература

Подписано в печать 19.07.2018. Формат 60×84/8.
Усл. печ. л. 13,25. Тираж 65. Заказ 1923.

Отпечатано с готового оригинал-макета,
предоставленного Издательством Политехнического университета,
в Типографии Политехнического университета.
195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29.
Тел.: (812) 552-77-17; 550-40-14.