

# ТЕХНИКА СРЕДСТВ СВЯЗИ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

№2 (142). 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

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

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

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

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

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

**Tsymbal V.A.** Branch of the Great Petr 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

<b>Николашин Ю.Л., Будко П.А., Жуков Г.А.</b> Эффективность использования когнитивной радиосвязи в декаметровом диапазоне частот .....	6
<b>Мирошников В.И., Костарев С.В.</b> Выбор показателей и критериев для оценки эффективности функционирования сложных систем связи .....	22
<b>Кулешов И.А., Коцыняк М.А., Лаута О.С.</b> Безопасность современных информационно-телекоммуникационных сетей .....	28
<b>Яшин А.И., Мошак Н.Н., Давыдова Е.В.</b> Параметрический и структурный синтез пакетных мультисервисных сетей NGN.....	36
<b>Авраменко В.С., Маликов А.В., Селезнев А.В.</b> Проблемы управления событиями и инцидентами информационной безопасности в автоматизированных системах специального назначения.....	48
<b>Акулов В.С., Салюк Д.В., Угрик Л.Н.</b> Учет точности прогнозирования электромагнитных полей при расчете радиотехнических систем.....	53
<b>Бабошин В.А., Мясникова А.И., Легков К.Е.</b> Анализ опыта построения общегражданских цифровых сетей в России .....	57
<b>Баканов Д.В., Мороз Н.В., Пухов Г.Г., Салюк Д.В., Тимчук А.А.</b> Применение многофункциональной системы персональной спутниковой связи «Гонец-ДИМ» для обеспечения информационного взаимодействия между удаленными абонентами .....	63
<b>Биялtdинов К.З., Кириченко Р.Н., Фортинский А.Г.</b> Управление качеством АСУ специального назначения.....	68
<b>Бобровский В.И., Скворцов А.К.</b> Снижение вычислительной сложности алгоритмов многопользовательского детектирования .....	72
<b>Бобровский В.И.</b> Эффективность модификации сигнальной конструкции КАМ-16 .....	77
<b>Браништи В.В.</b> Применение метода моментов для оценивания функции плотности вероятности в виде ортогонального ряда .....	82
<b>Будко П.А., Рыжкова Д.Н., Карпова Ж.О., Воронина Д.В.</b> Имитатор сетевого трафика.....	86
<b>Буренин А.Н., Мясникова А.И., Легков К.Е.</b> Основные подходы к моделированию управления современными инфокоммуникационными сетями специального назначения .....	99
<b>Винограденко А.М., Кузнецов А.В.</b> Система мониторинга технического состояния подвижных объектов.....	103
<b>Гарматенко С.И., Гарматенко И.С.</b> Использование АИС в обеспечении совместного маневрирования кораблей .....	108
<b>Голушко Д.А., Затылкин А.В., Юрков Н.К.</b> Методика индикации резонансов конструктивных элементов ЭС.....	115

Гусеница Я.Н. <i>Метод экспертизы программного обеспечения вооружения, военной и специальной техники</i> .....	118
Гусеница Я.Н., Кругляк Ю.Л., Петрич Д.О. <i>Наклонный стенд технического обслуживания и ремонта персонального компьютера</i> .....	124
Густов А.А., Дмитриев В.В., Париллов В.В. <i>Конвергентная телекоммуникационная платформа для стационарных и полевых сетей связи ВС РФ</i> .....	129
Густов А.А. <i>Методический подход к оценке влияния технической основы пункта управления на функционирование пункта управления</i> .....	134
Домкин К.И., Исхаков М.Ф. <i>Современные классификации робототехнических систем</i> .....	137
Дросс В.А., Копыгин А.Н., Яровикова О.В. <i>Подходы к оценке живучести и надежности оптической транспортной сети связи специального назначения</i> .....	139
Ермишян А.Г., Сызранцев Г.В., Пузанов Д.Е. <i>Общие требования к АСУС</i> .....	143
Ермишян А.Г., Севериненко А.М., Даниленко А.Н. <i>Основные принципы и задачи построения АСУС</i> .....	147
Ермишян А.Г., Берляев Л.А., Туренко В.В. <i>Типовой состав АСУС</i> .....	151
Ковальский А.А., Зиннуров С.Х. <i>Оперативное распределение радиоресурса спутника-ретранслятора при нестационарном входном потоке сообщений</i> .....	155
Коцыняк М.А., Кулешов И.А., Лауга О.С. <i>Вероятностно-временные характеристики компьютерной атаки типа «Проникновение в специальные базы данных и размещение ложной информации»</i> .....	158
Лапицкий В.Ф., Фролов К.В. <i>Методика расчета электромагнитной обстановки надводного корабля с учетом геометрических параметров корпуса и мест размещения антенно-фидерных устройств</i> .....	161
Лапицкий В.Ф., Фролов К.В. <i>Методика расчета электромагнитной обстановки при перемещении авиационных средств на верхней палубе авианесущего корабля</i> .....	166
Легков К.Е. <i>К вопросу организации процессов управления инфокоммуникационной системой специального назначения</i> .....	171
Легков К.Е. <i>Основные требования, предъявляемые к перспективным автоматизированным системам управления специального назначения</i> .....	178
Легков К.Е., Бабошин В.А., Нестеренко О.Е. <i>Модели и методы управления современными мультисервисными сетями связи</i> .....	181
Макаренко С.И. <i>Методики и методы повышения устойчивости системы связи в условиях деструктивного воздействия на протоколы сетевого и транспортного уровней</i> .....	185
Михайлов Р.Л. <i>Повышение устойчивости наземно-космических систем связи в условиях радиоэлектронного противоборства</i> .....	188
Мозжилкин А.В., Денисеня Ю.А. <i>Использование имитационного математического моделирования для обоснования технических требований к автоматизированной системе управления радиационным мониторингом</i> .....	191
Салюк Д.В. <i>Применение современных программных средств поддержки принятия решений в авто-</i>	



<i>матризованных системах управления сетями связи .....</i>	195
<b>Смагин В.А., Гусеница Я.Н.</b> <i>О моделировании одноканальных нестационарных систем с произвольными распределениями моментов времени поступления заявок и их обслуживания .....</i>	199
<b>Сызранцев Г.В., Неверов А.П., Сызранцева О.Г.</b> <i>Результаты испытаний автоматической первичной сети связи, построенной на мультиплексорах технологии NGPDH .....</i>	206
<b>Сызранцев Г.В., Иншин Г.В., Безуглый А.В.</b> <i>Технические решения по автоматизации процессов сетевого технологического управления системой (сетью) связи.....</i>	210
<b>Сызранцев Г.В., Кретов А.А., Сызранцев А.Г.</b> <i>Техническая реализация замены физических контактов на электронные при подключении различных потребителей к транспортной сети технологии SDH.....</i>	214
<b>Ушанев К.В.</b> <i>Снижение структурной сложности трафика в целях повышения качества обслуживания ...</i>	219
<b>Цветков К.Ю., Федосеев В.Е., Абазина Е.С.</b> <i>Применение систем ортогональных сигналов для организации скрытого канала передачи информации с кодовым уплотнением в структуре.....</i>	221
<b>Щербань И.В., Толмачев С.А., Красников С.О.</b> <i>Метод решения навигационной задачи на основе пространственно-дифференциальной фильтрации .....</i>	225
<b>Щербань И.В., Быкадоров Р.В.</b> <i>Методика калибровки микроэлектромеханических магнитометров ....</i>	228
<b>Щербань О.Г., Еремеев А.В.</b> <i>Программное обеспечение вопросов моделирования динамических звеньев, реализованное средствами LABVIEW .....</i>	230
<b>Щербань И.В., Антонов Д.Е.</b> <i>Программно-аппаратный комплекс для калибровки микроэлектромеханических акселерометров .....</i>	233
<b>Щербань И.В., Знаменский Д.А.</b> <i>Реализация волоконно-оптического канала передачи данных информационно-измерительной системы аппаратно-программными средствами NATIONAL INSTRUMENTS .....</i>	235

*Ю.Л. Николашин*

кандидат технических наук, генеральный директор ПАО «Интелтех»

*П.А. Будко*

доктор технических наук, профессор, ведущий научный сотрудник ПАО «Интелтех»

*Г.А. Жуков*

кандидат технических наук, доцент, ученый секретарь ПАО «Интелтех»

## **ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОГНИТИВНОЙ РАДИОСВЯЗИ В ДЕКАМЕТРОВОМ ДИАПАЗОНЕ ЧАСТОТ**

**АННОТАЦИЯ.** Предложено и обосновано расширение применения когнитивных радиосистем в декаметровом диапазоне радиоволн. Рассмотрена структура ведомственной системы когнитивной радиосвязи с программируемыми параметрами. Ее отличительной особенностью является способность извлекать и анализировать информацию из окружающего радиопространства, предсказывать изменения канала связи и оптимально адаптировать услуги, предоставляемые абонентам сети, к изменяющимся параметрам среды распространения радиоволн, помеховой обстановке и загрузке частотного диапазона. В основу данной системы радиомониторинга должны лечь программно-аппаратные комплексы средств связи, построенные на основе SDR-технологий. Предложены схемная реализация цифрового синтезатора многочастотного сигнала, а также многоканальное радиоприемное устройство с системой графического отображения сигналов в виде спектрограммы. Предлагаемые в статье методы можно отнести к ресурсосберегающим технологиям, поскольку они позволяют: осуществить ведение декаметровой радиосвязи без привязки на приемной стороне к радиоданным; сократить количество персонала, обслуживающего радиолинии; исключить ошибки персонала при перестройке парка радиоприемников приемного радиоцентра; снизить энергетiku радиолиний; повысить экономический эффект; повысить вероятность доведения сообщений до абонентов за счет ведения радиосвязи на оптимальных рабочих частотах.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** когнитивная радиосвязь, спектрограмма, декаметровая радиосвязь, многоканальное радиоприемное устройство, оптимальная рабочая частота.

### **Введение**

Практически весь частотный диапазон в настоящее время уже распределен и лицензирован, однако при этом он, как драгоценный природный ресурс, используется недостаточно эффективно [1]. Существенным образом повысить коэффициент использования спектра позволяет механизм динамического управления, согласно которому вторичным пользователям (не закрепленным за данным частотным диапазоном) предоставляется возможность передавать сообщения в диапазоне первичных пользователей в то время, пока этот диапазон не занят штатной работой передающих устройств. Именно это по-

ложение инициировало введение в 2011 г. стандарта IEEE 802.22.

Вместе с тем необходимо отметить, что сам по себе механизм динамического управления спектром весьма сложен технически и может применяться только в так называемых интеллектуальных радиосистемах. Их отличительной особенностью является способность извлекать и анализировать информацию из окружающего радиопространства, предсказывать изменения канала связи и оптимально адаптировать услуги, предоставляемые абонентам сети к изменяющимся параметрам среды распространения радиоволн (РРВ), помеховой обстановке и загрузке частотного диапазона.

Для описания таких интеллектуальных радиосистем Д. Митоллой в 1999–2000 гг. был предложен термин «когнитивное радио» (когнитивность дословно означает способность к познанию и самообучению) [2]. Уровень востребованности и дефицит радиочастотного ресурса определяют необходимость проработки различных подходов и технологических решений, направленных на повышение эффективности его использования. При этом принципы когнитивности радиосистем, предопределяющие возможность их применения, в административном смысле включает в себя, прежде всего, вторичность использования радиочастотного спектра (РЧС), а в технологическом смысле — адаптивность радиосистем в части реализации полос и номиналов радиочастот [3].

Резолюция МСЭ-R2117 устанавливает, что «...к системам когнитивного радио (CRS) относятся радиосистемы, использующие технологию, позволяющую получать знания о своей среде эксплуатации и географической среде, об установившихся правилах и о своем внутреннем состоянии; динамически и автономно корректировать свои эксплуатационные параметры и протоколы, согласно полученным знаниям, для достижения заранее поставленных целей и учиться на основе полученных результатов...».

Сегодня за рубежом активно ведутся работы по построению систем широкополосного радиодоступа в так называемом телевизионном диапазоне волн (54÷862 МГц), для которого разработан стандарт IEEE 802.22 беспроводной передачи данных, основанный на принципах когнитивного радио, в том числе предусматривающий возможность безлицензионного использования частотного ресурса.

Продвижение данного направления развития интеллектуальных радиосистем выдвигает на первый план проведение обоснований и выработки концепции внедрения технологий когнитивного радио и в России. В 2012 году по решению Государственной комиссии по радиочастотам при Министерстве связи и массовым телекоммуникациям в стране создана опытная зона по внедрению когнитивных систем широкополосного беспроводного доступа в РФ в полосе радиочастот 470÷686 МГц. Однако на сегодня кроме стандарта IEEE 802.22 других нормативных документов, регламентирующих использование систем когнитивного радио в мировом сообществе, пока не принято. В этом

плане с оптимизмом следует ожидать изменений в Регламент радиосвязи МСЭ, касающихся совершенствования международного регулирования использования спектра, а также распределения и совместного использования частот в ближайшей перспективе на очередной Всемирной конференции радиосвязи.

Как считают зарубежные специалисты из Beal Labs и Cisco, к 2016 году объем мобильного трафика возрастет в 18–25 раз и возможности радиочастотного диапазона в региональных сетях будут исчерпаны. Однако, как отмечают в Европейском институте электросвязи (ETSI), имеющиеся технологии пока еще не обеспечивают все необходимые требования для универсального применения когнитивного радио [4]. Вместе с тем, планируется, что системы связи с программируемыми параметрами должны работать в будущем от 9 кГц до 300 ГГц [5].

Одним из специфических участков указанной частотной области, в силу ряда особенностей, является диапазон декаметровых волн (ДКМВ).

В статье рассматриваются пути технической реализации элементов ведомственной когнитивной радиосвязи диапазона ДКМВ и определяется перечень задач, требующих решения при создании единой когнитивной системы связи ДКМВ.

#### **Основные элементы радиолиний на базе применения SDR-технологий**

В системах связи специального назначения уделяется значительное внимание средствам «прямой» радиосвязи, обеспечивающим возможности оперативного обмена информацией между абонентами минуя каналы и линии первичной сети связи и сетей связи общего пользования [1–4]. К классу таких средств относятся линии декаметровой (100 м÷10 м) (ДКМ) радиосвязи, которые находят широкое применение практически во всех звеньях управления. Это обусловлено рядом объективных причин, основными из которых являются: возможность доведения информации на дальние и сверхдальние (до 12 тыс. км и более) расстояния; сравнительно низкая стоимость и компактность технических средств ДКМ радиолиний и др.

Особое место ДКМ радиосвязь занимает при организации обмена данными между удаленными абонентами гражданских и военных ведомств, например для организации связи

с абонентами в труднодоступных районах, доведения команд до надводных кораблей и решения ряда других специальных задач. Кроме того, ДКМ радиосвязь имеет важное значение как резервный вид связи. Поэтому поиск путей ее эффективного развития является важной и актуальной задачей, решение которой требует модернизации принципов организации и управления сетями ДКМ радиосвязи и внедрения новых радиолиний, основанных на применении SDR-технологий.

В соответствии с резолюцией МСЭ-R2117 «...SDR — это устройство с программируемыми параметрами: передатчик и/или радиоприемное устройство, использующие технологию, позволяющую с помощью программного обеспечения установить или изменить рабочие радиочастотные параметры, включая, в частности, диапазон частот, тип модуляции или выходную мощность...».

Одним из перспективных направлений повышения эффективности использования SDR-технологий является создание радиоприемных устройств (РПУ) с системой графического отображения сигналов в виде спектрограммы. К таким РПУ может быть отнесен цифровой радиоприемник декаметрового диапазона волн ST-093, работающий под управлением IBM PC [6]. Подключение персонального компьютера, позволяющего осуществлять просмотр спектрограмм осуществляется по стыку RS-232 (см. рис. 1).

Целесообразность графического представления принимаемого сигнала обусловлена, в частности, следующими предпосылками. Для ДКМ канала характерно наличие помех естественного и искусственного происхождения, а также искажение принимаемого сигнала из-за эффекта «многолучевости», что приводит к снижению вероятности приема сообщений в авто-

матизированных радиосистемах. С учетом этого для передачи сообщений в ряде случаев применяется параллельная передача: по автоматизированной радиолинии с соответствующей сигнально-кодовой конструкцией, а также передача текста в коде «азбуки Морзе» с последующим его приемом дежурным оператором в «слуховом режиме». Это связано с тем, что система слухового восприятия у человека способна адаптироваться к посторонним шумам и определять наличие полезного сигнала даже при соотношении сигнал/шум менее 1.

Вместе с тем, зрительное восприятие человеком заранее заданного образа (геометрической фигуры, отрезка линии и т. д.) обеспечивается при потере или искажении до 90 % элементов изображения в результате воздействия помех (шумов) на его фрагменты, позволяя отождествить оставшиеся элементы изображения с заданным образом. Это определяется важной особенностью нейронной сети мозга человека по восстановлению полного ключевого образа, хранящегося в памяти, по неполным и искаженным данным [7].

Испытания, проведенные ПАО «Интелтех» на реальных радиотрассах, показали, что визуальный прием сигналов азбуки Морзе, с использованием приемника, отображающего на мониторе временную спектрограмму сигнала (рис. 2), позволяет зрительно зарегистрировать передаваемую информацию, даже в том случае, когда в слуховом режиме прием невозможен из-за слишком низкого соотношения сигнал/помеха (рис. 3).

Визуализация сигнала, т. е. его графическое отображение на экране монитора в реальном масштабе времени является эффективным средством для разработчиков новых радиолиний, глубокого исследования особенностей распространения

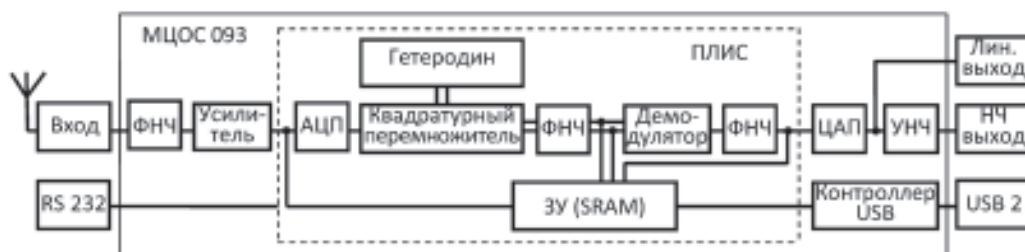


Рис. 1. Структурная схема цифрового РПУ ST-093: ФНЧ — фильтр нижних частот; АЦП — аналого-цифровой преобразователь; УНЧ — усилитель низких частот; НЧ — низкочастотный (вых.); ЗУ — запоминающее устройство; ПЛИС — программно-логическая интегральная схема

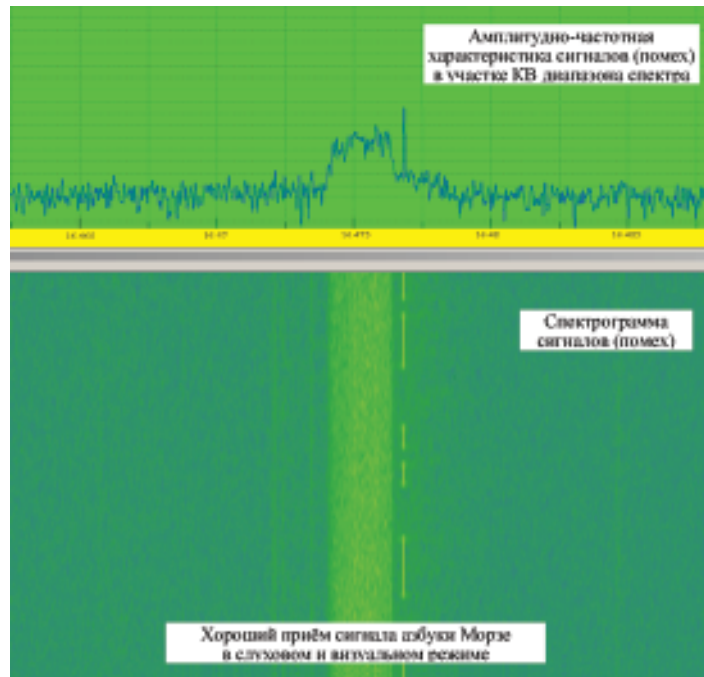


Рис. 2. Визуальный прием слухового телеграфа (Азбуки Морзе)

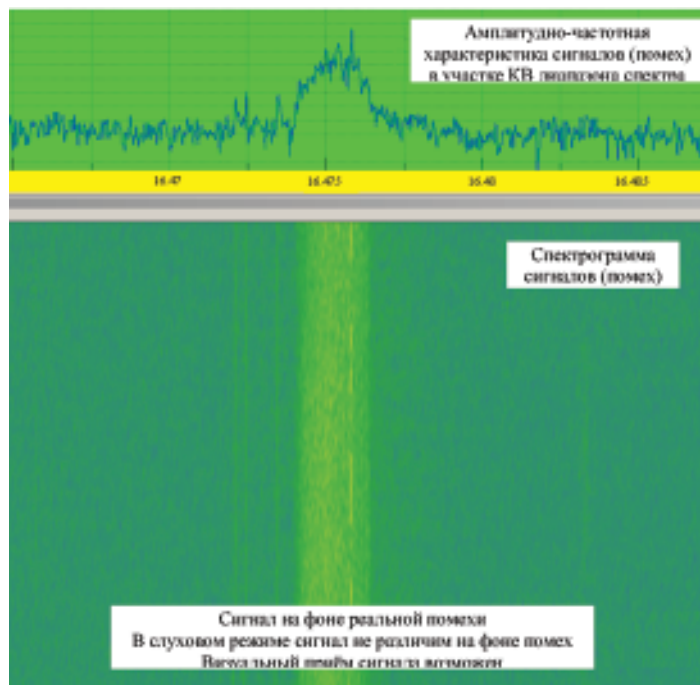


Рис. 3. Слуховой режим приема невозможен из-за низкого соотношения сигнал/помеха (визуальный прием возможен)



сигналов и создания на базе полученных знаний новых методов передачи и приема сообщений.

Одними из технических средств, частично реализующих решение данных задач, являются профессиональные анализаторы спектра зарубежных фирм Agilent, Tectronics и Rohde&Schwarz [8–10].

В анализаторах спектра реального времени (АСРВ) [9, 10] с помощью АЦП и блока памяти сигнал промежуточной частоты оцифровывается, запоминается и детектируется цифровым детектором. При этом группы кадров (блоки) подвергаются цифровой обработке сигналов (ЦОС) с применением короткого (быстрого) оконного преобразования Фурье (БПФ). Анализируемый участок спектра последовательно просматривается коротким окном и строится спектрограмма в плоскости «время-частота» с представлением амплитуды цветом. В отличие от АСРВ в обычных анализаторах спектр строится в плоскости «амплитуда-частота», что делает их неэффективными для анализа нестационарных сигналов и не дает привязки компонентов спектра ко времени. Применение БПФ, высокоскоростной ЦОС, хранения спектров реального времени в памяти, а также использование технологии цифрового фосфора (имитация послесвечения на дисплее) позволяют объединить в АСРВ достоинства предшествующих поколений анализаторов с новейшими достижениями в области цифровой обработки сигналов, при этом становится возможным анализ нестационарных сигналов с изменяемыми во времени параметрами, в том числе сигналов с псевдослучайной перестройкой рабочих частот (ППРЧ).

В анализаторах спектра указанных выше зарубежных фирм реализуется принцип параллельно-последовательного частотного анализа сигнала, что не всегда позволяет регистрировать кратковременные импульсы. Кроме того, в этих анализаторах динамический диапазон как правило не превышает 100 дБ, что недостаточно для исследования сигналов в декаметровом диапазоне волн.

Вместе с тем, достижения в области SDR-технологии позволяют создать многоканальные радиоприемные устройства (МРПУ) с независимыми параллельными каналами приема. Серийно уже выпускаются 32(64)-канальные РПУ с высоким динамическим диапазоном и чувствительностью, описание которых приведено в [11].

Анализ характеристик перспективной элементной базы и эффективных алгоритмов обработки цифровых сигналов показывает, что практически возможно реализовать РПУ в стандартном типоразмере Евромеханики (19 дюймов, 4(8) U) с числом независимых каналов параллельного приема/обработки до 50÷100 тысяч. Следовательно, при шаге сетки частот установки радиопередающего устройства 100 Гц двумя МРПУ будет перекрыт диапазон до 20-ти МГц, что фактически является достаточным для реальной декаметровой связи.

Это дает возможность внедрения нового способа доведения сообщений до удаленных объектов по ДКМ радиоканалу без необходимости установки частоты передачи на приемном радиоприемнике и в то же время позволяющего вести передачу на оптимальной для данного момента времени частоте [12].

Кроме того, такое МРПУ с программным управлением сеткой частот является основной альтернативой рассмотренных анализаторов спектра при решении задач когнитивной радиосвязи в части визуального и автоматического мониторинга радиочастотного диапазона. Современные методы и алгоритмы цифровой обработки сигнала и построения банков цифровых фильтров, подобные рассмотренным в [13–16], позволяют резко сократить используемое количество ПЛИС при построении возбуждающих и радиоприемных устройств в интересах системы когнитивной радиосвязи. Так, например, 16,5 тыс. каналов приема реализуется в зависимости от заданных требований к МРПУ на 25–30 ПЛИС.

В настоящее время ПАО «Интелтех», совместно с Военной академией связи реализовали макет такого многоканального перепрограммируемого РПУ с параллельной обработкой сигналов, являющегося основой для создания промышленного образца комплекса радиомониторинга широкого назначения [17].

Аналогично МРПУ может быть создано широкодиапазонное радиопередающее устройство (РПДУ), обеспечивающее передачу многочастотных сигналов, реализуемое на основе цифрового синтезатора частот. Одна из возможных схемных реализаций такого синтезатора (возбуждающего устройства) приведена в [18], а ее модернизированный вариант, обеспечивающий параллельную передачу  $N$  сигналов с частотной модуляцией (ЧМ), с использованием одной ан-



тенно-фидерной подсистемы (АФП), приведен на рис. 4.

Устройство, представленное на рис. 4 состоит из последовательно соединенных сумматора кодов частот 8, цифро-аналогового преобразователя (ЦАП) 11, полосового фильтра 12, усилителя мощности 13, блока согласования с антенной 14 и АФП 15. При этом информационное сообщение ( $N$  бит) поступает на обработку в последовательно-параллельный регистр записи сообщения (блока сообщения) 1. Далее все биты информационного сообщения в параллельном режиме считываются в блок управления ключами 2 и по сигналу тактовой частоты от системы единого времени (СЕВ) и синхронизации 4 по информационной шине 3 поступают на  $N$  информационных входов «1 бит»÷« $N$  бит» блока электронных ключей 7, на  $2N$  управляющих входов которого поступают рабочие частоты « $f_1^{\text{раб.}}$ »÷« $f_{2N}^{\text{раб.}}$ » из блока установки рабочих частот 6, формируемых на основе псевдослучайной последовательности (ПСП) в генераторе ПСП 5.

Блок электронных ключей 7 состоит из  $N$  пар электронных ключей 7.1–7.2; 7.3–7.4; ...; 7.(2*i*–1)–7.2*i*, ..., 7.(2*N*–1)–7.2*N*, настроенных на прием соответственно двух видов бинарных посылок — информационной единицы (Ключ «1») и информационного нуля (Ключ «0»). Причем информационные входы  $i$ -ой пары электронных ключей,  $i = 1, 2, \dots, N$ , связаны с соответствующими  $i$ -ми информационными входами «1-й бит», ..., « $N$ -й бит» блока электронных ключей 7 и информационной шины 3. На управляющие входы нечетных (Ключ «1») и четных (Ключ «0») электронных ключей  $i$ -ой пары через соответствующие управляющие входы блока электронных ключей 7 по сигналам тактовой частоты СЕВ и синхронизации 4 от блока установки рабочих частот 6 одновременно поступают соответственно рабочие частоты « $f_{2i-1}^{\text{раб.}}$ » и « $f_{2i}^{\text{раб.}}$ ». Четные 7.2*i* и нечетные 7.(2*i*–1) электронные ключи дают сигналы разрешения на установку соответствующего поступившему информационному «0» или информационной «1» кода рабочей частоты выбранного по сформированной ПСП в генераторе ПСП 5.

Таким образом, с  $2N$  выходов блока электронных ключей 7 сформированные для информационных битов сообщения коды рабочих частот поступают на соответствующие входы

сумматора кодов частот 8, выполненного по каскадной схеме и состоящего из суммирующих блоков. Причем каждый  $r$ -й суммирующий блок,  $r = 0, 1, \dots, \log_2 N$ , содержит  $N/2^r$  сумматоров 9 на два входа для формирования многочастотного сигнала и  $N/2^r$  регистров памяти 10 с возможностью хранения в них промежуточных сумм.

Формирование суммарного многочастотного сигнала происходит аналогично процедуре, рассмотренной в [18].

В результате сигнал на шине «выход» сумматора кода частот 8 представляет собой сумму гармонических функций, частоты которых изменяются по псевдослучайному коду. После цифро-аналогового преобразования, фильтрации, усиления и согласования с антенной групповой многочастотный сигнал излучается с использованием широкополосной АФП 15.

Построение РПДУ с использованием многоканального возбудительного устройства (МВУ), а также реализация многоканального перепрограммируемого РПУ [17] с параллельной обработкой сигналов на приемной стороне открывает возможности как по созданию новых многоканальных помехозащищенных радиолиний ДКМ диапазона волн на базе применения SDR-технологий, так и перспективы получения современного технологического оборудования, обеспечивающего повышение качества, снижение сроков разработок и внедрения новых радиосредств и радиолиний.

#### **Технологическое оборудование для разработки эффективных средств когнитивной радиосвязи**

Новые возможности, открываемые данной технологией могут также использоваться как инструментарий для построения и исследования моделей когнитивных радиосистем, позволяющих вести, помимо мониторинга, расчет и анализ состояния среды эксплуатации, определять коэффициенты корреляции сигналов при территориально разнесенном приеме и прогнозировать использование различных видов ресурсов радиоцентров.

Структурная схема реализации комплекса технологического оборудования, в основном реализующего указанные задачи, представлена на рис. 5.

При этом для связи с удаленными объектами в исследовательских целях применяются каналы мобильного интернета, а для систем

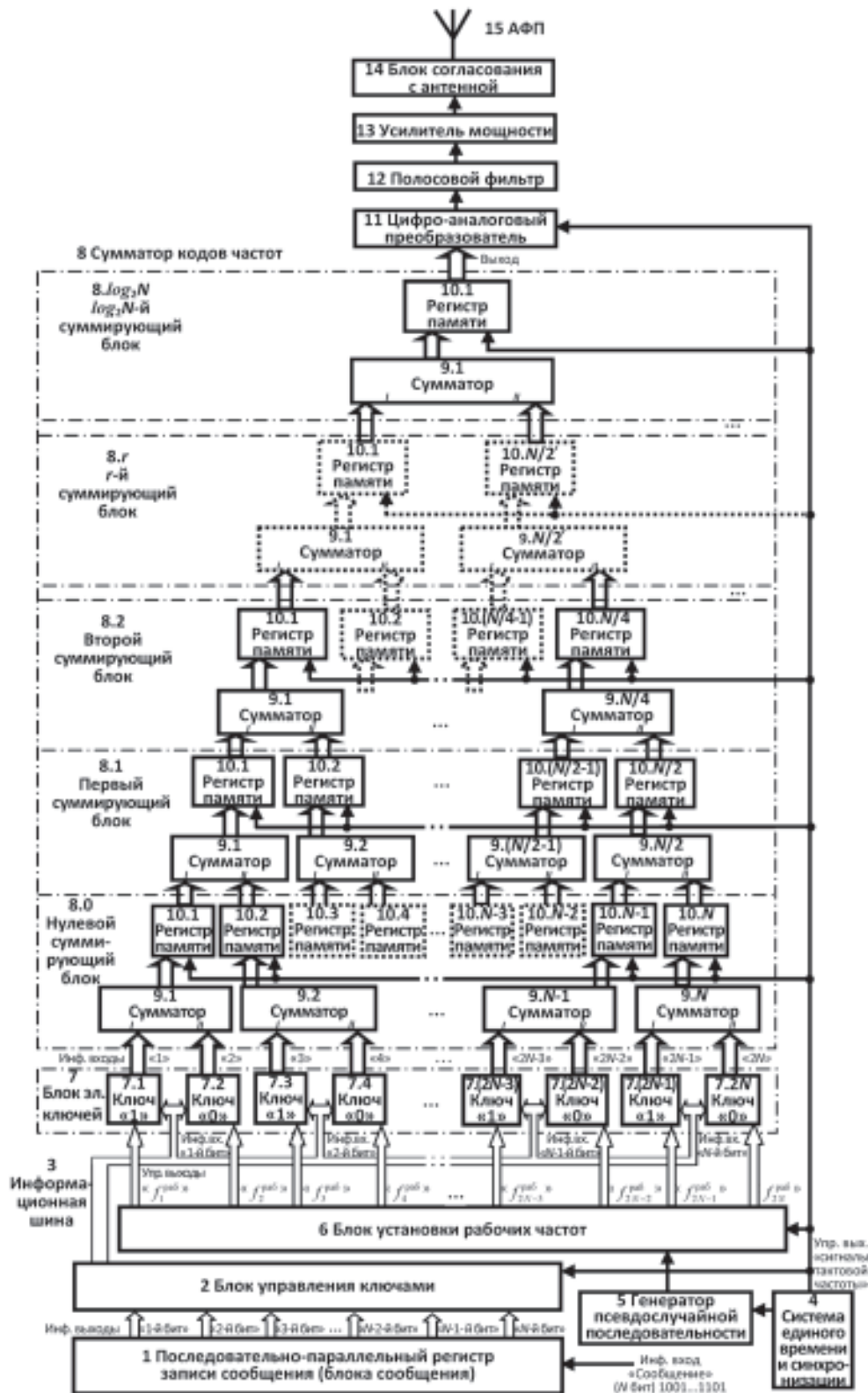


Рис. 4. Структурная схема устройства, реализующего параллельную передачу  $N$  сигналов с частотной модуляцией



Рис. 5. Структурная схема реализации комплекса технологического оборудования:  
 ПРЦ — приемный радиоцентр; ПДРЦ — передающий радиоцентр;  
 ФАР — фазированная антенная решетка

специального назначения предполагается использование защищенных каналов спутниковой (радиорелейной) либо волоконно-оптической связи. В качестве приемного антенного устройства целесообразно применить кольцевую ФАР с дистанционно управляемой диаграммой направленности.

Для иллюстрации возможного использования комплекса при анализе радиосигнала на верхней части рисунков 6 и 7 представлены записи сигналов из эфира в участке диапазона ДКМВ, наблюдаемые на экране АРМ разработчика в режиме панорамного радиоприемника, а на нижней части — приведены параллельные записи, сделанные в режиме временной развертки сигналов во всей частотной полосе анализа спектрограммы. Программно изменяя скорость временной развертки сигналов, можно визуально наблюдать не только излучения в режиме телеграфирования со скоростью  $V = 50 \div 100$  бит/с (фрагмент А на рис. 6), но также и импульсные сигналы длительностью менее 10 мс, передаваемые в режиме ППРЧ (фрагмент А на рис. 7). На рис. 6 (фрагмент Б) также можно наблюдать характер отображения на спектрограмме линейно-частотно модулированного (ЛЧМ) сигнала, используемого для зондирования ионосферы.

На фрагменте А рис. 8 отображен пилообразный ЛЧМ сигнал под сосредоточенной помехой, а на фрагменте Б — сложный пилообразный ЛЧМ сигнал под шумовой помехой, выделить который с помощью классического энергетического обнаружителя [19], работающего в авто-

матическом режиме, не представляется возможным. На фрагментах рис. 8 продемонстрированы возможности повышения эффективности визуального восприятия сигналов с низкой энергетикой за счет изменения цветопередачи на экране монитора.

Таким образом, МРПУ как в визуальном, так и в автоматическом режимах может обеспечить реализацию мониторинга радиоэлектронной обстановки в заданном частотном диапазоне, а также получение первичных данных для функционирования системы когнитивной ДКМ радиосвязи, обобщенная структура которой представлена на рис. 9.

На первом этапе создания единой системы радиомониторинга целесообразно реализовать и оценить эффективность функционирования ведомственной системы когнитивной связи (СКС), структура построения которой фактически соответствует территориально-распределенной системе, аналогичной представленной на рис. 9. В состав данной системы должны входить автоматизированный центр сбора и обработки данных (АЦСОД), сопряженный с территориально-разнесенными программно-аппаратными комплексами радиомониторинга (ПАК РМ) ведомства в каждом регионе: ПАК «РМ-Центр», ПАК «РМ-Запад», ПАК «РМ-Восток», ПАК «РМ-Юг», и ПАК «РМ-Север».

Внедрение системы когнитивной связи позволит [20]:

— обеспечить полный охват непрерывным радиоконтролем действующих радиолиний

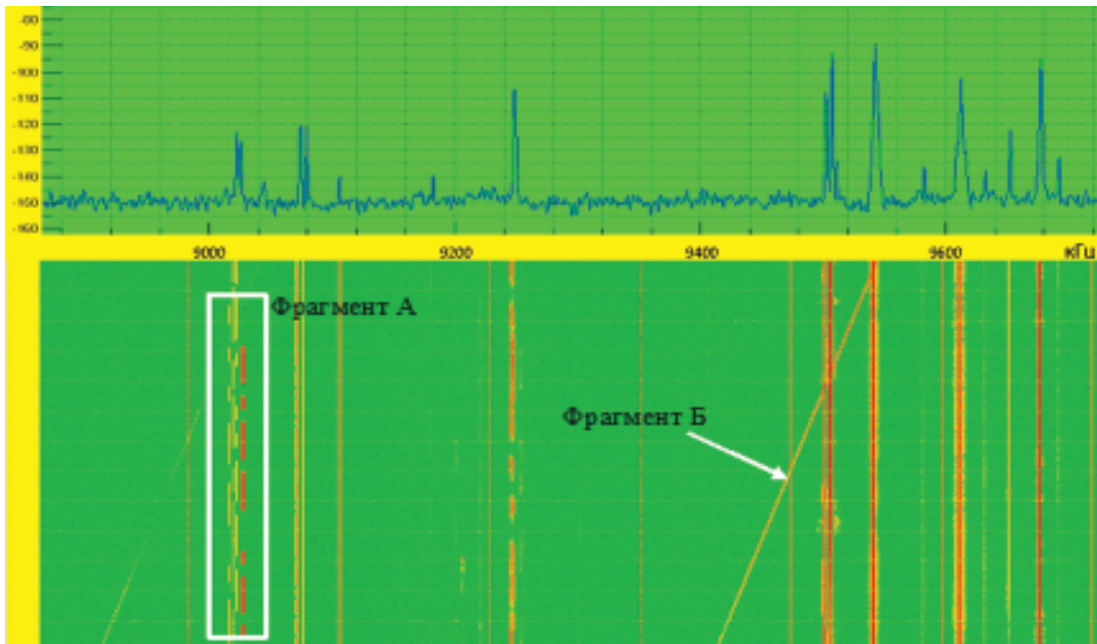


Рис. 6. Масштабированная спектрограмма действующих радиолиний диапазона ДКМВ, полученная с помощью МРПУ [17]: фрагмент *А* — прием сигналов в режиме АТ; фрагмент *Б* — отображение ЛЧМ сигнала, используемого для зондирования ионосферы

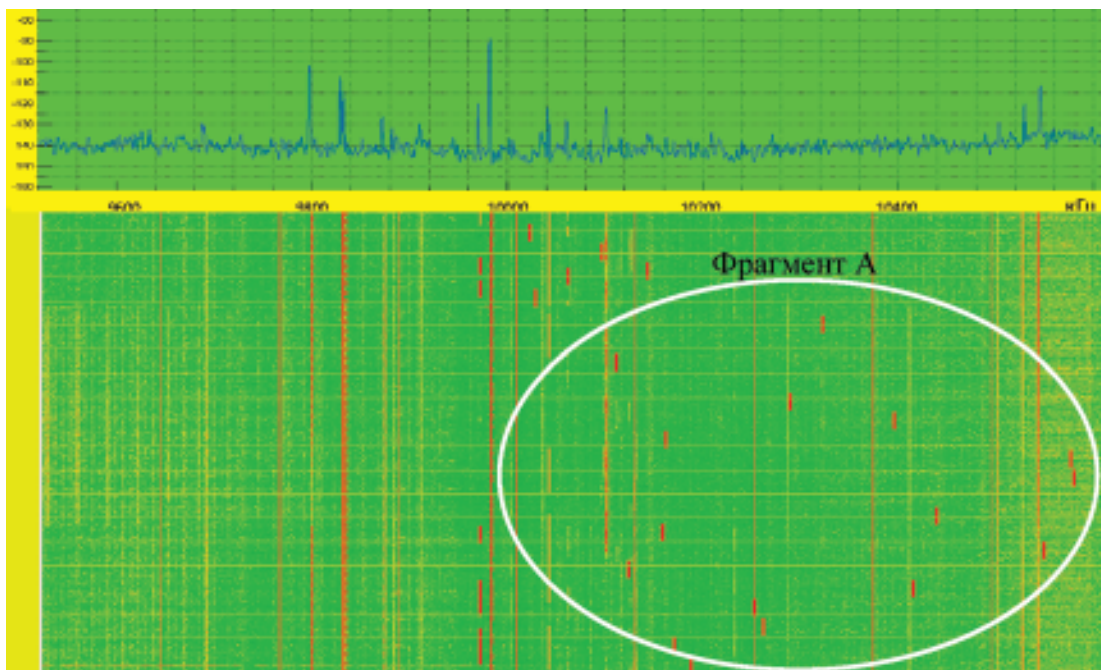


Рис. 7. Запись спектрограммы, сделанная в режиме временной развертки сигналов. Фрагмент *А* — сигнал, передаваемый в режиме ППРЧ



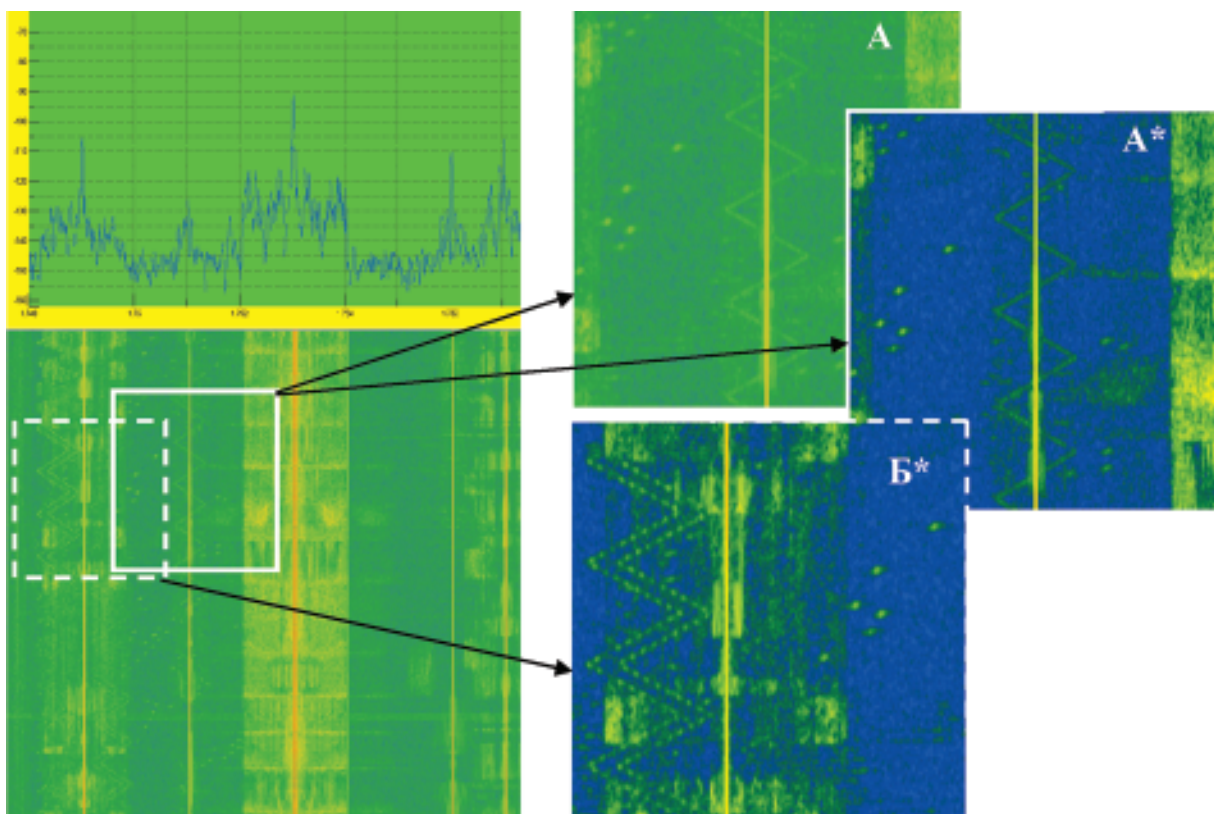


Рис. 8. Спектрограмма широкополосного сигнала под помехой: фрагмент *A* — пилообразный ЛЧМ сигнал под сосредоточенной помехой; фрагмент *B* — сложный пилообразный ЛЧМ сигнал под шумовой помехой; \* — спектрограмма в градациях синего



Рис. 9. Система мониторинга радиоэлектронной обстановки в интересах радио-частотного обеспечения функционирования сети когнитивной дециметрового радиосвязи

(радиосетей и радионаправлений) ВС РФ за счет использования многоканального широкополосного радиоприемного устройства;

- автоматизировать процесс выявления нарушений безопасности связи и сократить количество обученного контролирующего персонала;

- обеспечить возможность определения технического состояния радиопунктов (готовности пунктов управления всех звеньев ВС РФ) и отдельных радиосредств в режиме on-line без больших аппаратных затрат;

- повысить уровень безопасности связи и дисциплину радиосвязи в радиопунктах (радионаправлениях, радиосетях) ВС РФ за счет своевременного выявления нарушений установленного режима работы радиосредств по основным элементам потенциала радиопункта (энергетическому, временному, пространственному и частотному), выявления нарушений норм технической эксплуатации радиопередатчиков устройств по демаскирующим оперативно-тактическим (опознавательным и демаскирующим) и техническим (групповым и индивидуальным) признакам радиосвязи, а также оперативного принятия мер по пресечению нарушений безопасности связи;

- обеспечить лицо, принимающее решение информацией по управлению способами контроля или достаточности скважности контроля;

- существенно уменьшить расходы на эксплуатацию и контроль (мониторинг) базовых радиопунктов ВС РФ за счет использования многоканального устройства контрольного приема и обработки сообщений;

- существенно снизить площади антенных полей и объемы антенно-фидерных устройств за счет использования унифицированной малогабаритной широкодиапазонной антенной системы;

- осуществлять оперативное управление радиопунктами и маневр частотным ресурсом в сложной помеховой обстановке;

- осуществлять контроль всех доступных диапазонов радиоволн в интересах радиоэлектронного противодействия (РЭП) и борьбы (РЭБ);

- существенно снизить энергопотребление пунктов (центра) контроля безопасности связи (ПКБС, ЦКБС) объединений, родов, видов войск (сил) в оперативном (ОЗУ) и стратегическом (СЗУ), а также узлов комплексного технического контроля (УКТК) соединений в тактическом (ТЗУ) звеньях управления ВС РФ без снижения охвата контролируемых диапазонов за счет ис-

пользования многоканального устройства контрольного приема и малогабаритной антенной системы;

- автоматизировать разработку рабочей карты начальника ПКБС (УКТК), схемы связи, а также справочных документов, содержащих сведения (данные) для подготовки и принятия решений на организацию связи и организацию контроля в виде таблиц, графиков, схем, справок и т. п.

В результате построения ведомственной СКС должна быть разработана промышленная технология создания аппаратно-программных комплексов контроля безопасности связи (АПК-КБС) и комплексного технического контроля (АПК-КТК) радиопунктов ВС РФ, обеспечивающая:

- повышение безопасности связи при ведении радиосвязи на радиопунктах (радиосетях, в радионаправлениях) ВС РФ;

- увеличение объема проводимого непрерывного и полного радиоконтроля, повышение его объективности и действенности;

- реализацию алгоритма радиоконтроля и мониторинга градиента изменения суммарного уровня сигналов и преднамеренных помех в КВ и СДВ диапазонах волн в интересах узлов связи и радиопунктов ВС РФ;

- поддержку принятия решения для различных вариантов применения АПК-КБС и АПК-КТК;

- определение факта функционирования радиопунктов и отдельных радиосредств ВС РФ по контрольному приему сообщений, передаваемых в соответствие с действующим частотно-временным расписанием;

- поиск функционирующих пунктов управления ВС РФ (и входящих в их состав узлов связи, стационарных и мобильных радиопунктов);

- сбор и доведение данных мониторинга технического состояния от отдельных радиосредств и радиопунктов войск (сил) до главкоматов видов (родов войск) ВС РФ и ГШ ВС РФ (объекта размещения АПК-ЦПКБС на АРМ руководителя центрального пункта контроля безопасности связи (ЦПКБС) и узла контроля безопасности связи (УКБС) ВС РФ).

#### **Оценка эффективности функционирования радиопункта при использовании данных радиомониторинга**

Рассмотрим эффективность функционирования одночастотных (узкополосных) радиопунктов при различной скорости передачи и мощности излучения.



При передаче двоичной информации в режиме частотной манипуляции в канале с релевскими замираниями вероятность ошибки приема одного бита, как следует из [21], может быть рассчитана по формуле

$$p_{\text{эл}} = \frac{1}{h^2 + 2}, \quad (1)$$

где  $h^2$  определяется отношением энергии элемента сигнала  $E_c$  к спектральной плотности помехи  $v^2$

$$h^2 = \frac{E_c}{v^2} = \frac{P_c T}{v^2} = \left(\frac{P_c}{P_n}\right)_F FT = \left(\frac{U_c^2}{U_n^2}\right)_F FT, \quad (2)$$

где  $P_c, P_n$  — мощности сигнала и помехи соответственно,  $F$  — полоса частот, занимаемая сигналом,  $T$  — длительность элемента сигнала,  $U_c$  и  $U_n$  — напряженности поля сигнала и помехи в точке приема соответственно.

С учетом эмпирических формул для вычисления значения напряженности поля при ионосферном распространении ДКМ радиоволн [22–24] выражение (2) можно представить в виде

$$h^2 = \frac{P_{\text{изл}} \left[ 122 \exp\left(-\frac{3,8 \cdot 10^{-2}}{\lambda^{0,2}} R\right) \exp(-0,4n) \right]^2}{U_n^2 R^2 (0,0021 + \sin \theta^0)} FT, \quad (3)$$

где  $P_{\text{изл}}$  — мощность излучения сигнала (кВт), с учетом коэффициента направленного действия

антенны;  $R$  — дальность трассы (тыс. км);  $\lambda$  — длина излучаемой волны (м);  $\theta^0$  — угловое расстояние между пунктами приема и передачи;  $n$  — число отражений волны от ионосферы на трассе,  $U_n^2$  — напряженность поля помехи в точке приема.

Из формул (2) и (3) следует, что если длительность излучения элементарной посылки (бита информации) при высокоскоростной передаче  $T_{\text{вс}}$  будет уменьшена в  $k$  раз и передача сообщений будет вестись с медленной скоростью  $V_{\text{мс}}$  с сохранением мощности излучения  $P_{\text{изл}}$ , то

$$h_{\text{мс}}^2 = \frac{T_{\text{мс}}}{T_{\text{вс}}} h_{\text{вс}}^2 = \frac{V_{\text{вс}}}{V_{\text{мс}}} h_{\text{вс}}^2 = k h_{\text{вс}}^2. \quad (4)$$

Для примера на рис. 10 приведены результаты численных расчетов по формулам (1)÷(4) для узкополосных радиотрасс при длине волны  $\lambda = 20$  м на широтной радиотрассе.

Представленная на рис. в графическом виде зависимость дальности связи с заданной надежностью (вероятность приема бита не хуже требуемой  $P_{\text{пр}}^{\text{тр}} = 0,98$ ) от мощности излучения  $P_{\text{изл}}$  рассчитана для спектральной плотности помех  $v_{(1)}^2$  и  $v_{(2)}^2$ , соответствующих напряженности поля  $U_{\text{п}(1)500}^2 = 1$  мкВ/м и  $U_{\text{п}(2)500}^2 = 20$  мкВ/м при скорости передачи сообщения 500 бит/с.

Из анализа графика следует, что при малой спектральной плотности помех  $v_{(1)}^2$  даже при скорости 500 бит/с при мощности излучения

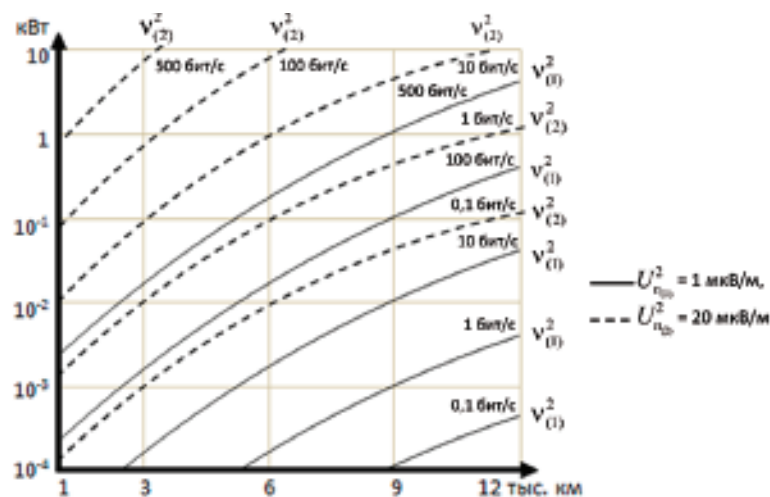


Рис. 10 — Зависимость дальности связи с заданной надежностью от мощности излучения и спектральной плотности помех для различных скоростей передачи сообщения

1 кВт достигается дальность связи до 9 тыс. км с вероятностью доведения одного бита не ниже заданной. При снижении скорости до 10 бит/с указанная дальность связи достигается мощностью излучения равной 20 Вт. Однако, при увеличении спектральной плотности помех до  $v_{(2)}^2$ , с заданной вероятностью для скорости 500 бит/с обеспечивается существенно меньшая дальность связи (менее 2 тыс. км). Для скорости передачи 10 бит/с при спектральной плотности помех  $v_{(2)}^2$ , даже дальность связи 3 тыс. км достигается только при мощности излучения 100 Вт. Аналогичный характер зависимости дальности связи от мощности передачи и спектральной плотности помех естественно наблюдается и для скорости передачи 1 бит/с.

Отсюда следует, что для обеспечения устойчивого обмена данными при заданной мощности излучения целесообразно использовать систему когнитивной связи, позволяющей осуществлять работу на частотах со спектральной плотностью помех до  $v_{(1)}^2$  и ниже.

Вместе с тем, как показано в [25], наиболее эффективным режимом передачи сообщения в диапазоне частот с высокой плотностью работающих радиостанций в полосе оптимальных рабочих частот (ОРЧ) (см. рис. 11) является режим ППРЧ. Однако, задача поиска необходимого для работы в режиме ППРЧ большого числа частот, свободных от помехи, и их доведение до абонента в реальном масштабе времени в настоящее время решена не в полной мере. При этом абонент может получить данные лишь о частотах стационарно занятых мощными радиосредствами. Поэтому в большинстве случаев прием элемента сообщения будет осуществляться в условиях помеховой обстановки, в среднем соответствующей значениям плотности вероятности в диапазоне  $v_{(1)}^2 \div v_{(2)}^2$  и выше. Для примера на графике рис. 12 представлена вероятность правильного приема бита сообщения для трассы протяженностью 6 тыс. км и мощности излучения 10 Вт для разных скоростей передачи.

Из анализа графика следует, что наиболее устойчивым в условиях случайных помех

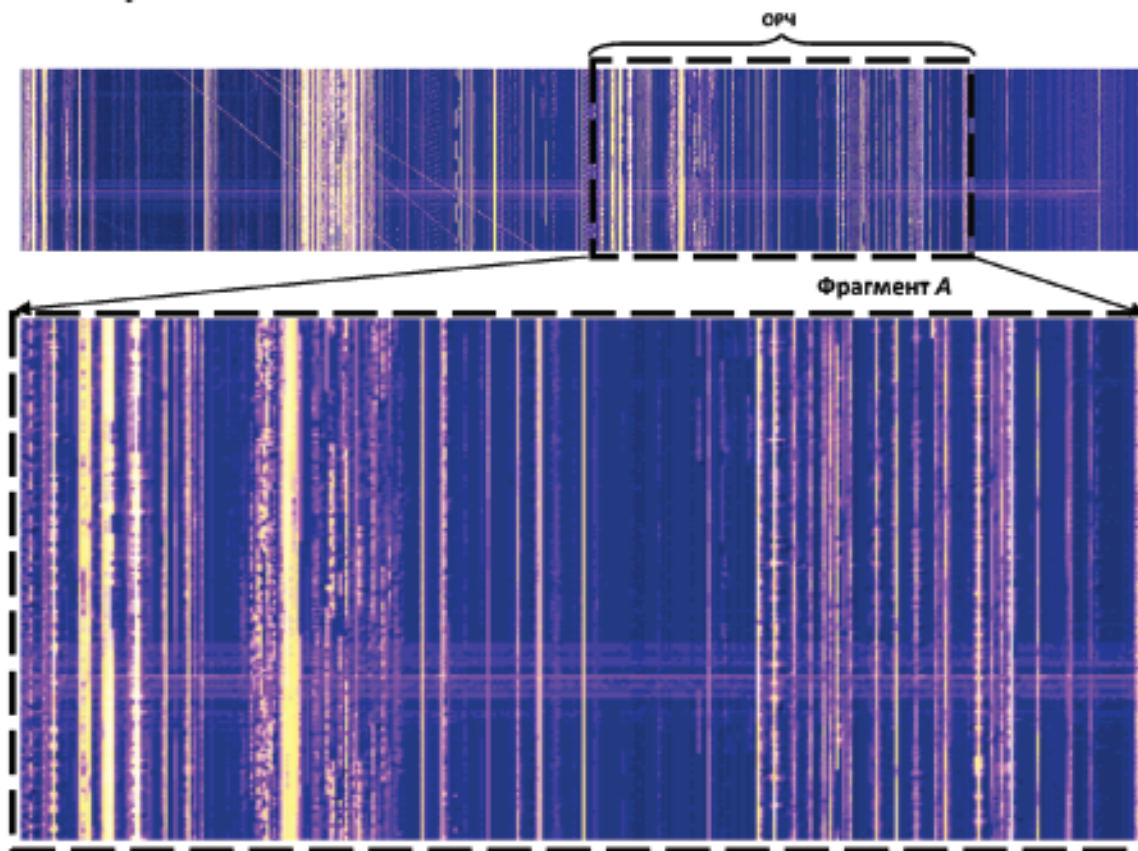


Рис. 11. Общий вид загрузки участка оптимальных рабочих частот (для конкретной радиотрассы) диапазона дециметровых волн в режиме on-line

является передача на низких скоростях (от 10 бит/с и менее).

Вместе с тем, при снижении скорости передачи в режиме ППРЧ общее время передачи сообщения объемом  $N$  бит увеличивается в  $M = T_{\text{мс}}/T_{\text{вс}}$  раз. Так при переходе от скорости передачи  $V_{\text{вс}} = 500$  бит/с к скорости передачи  $V_{\text{мс}} = 1$  бит/с при числе бит в сообщении  $N = 100$  общее время передачи увеличится с  $T_{\text{вс}} = t_{500} = 0,2$  с до  $T_{\text{мс}} = t_1 = 100$  с. Такое изменение временных характеристик в сторону ухудшения являются весьма критическими, особенно для спецпотребителей.

Для сохранения общего времени передачи при одновременном увеличении длительности излучения одного бита возможно использовать многоканальное передающее устройство, рассмотренное выше. В этом случае значение  $T_{\text{мс}}$  определяется простым выражением

$$T_{\text{мс}} < T_{\text{вс}} N.$$

При этом число каналов передачи должно быть равно  $N$ . Следовательно, при таком методе передачи мощность излучения одного бита сообщения не превысит значения

$$P_{\text{мс}} = \frac{P_{\text{изл}}}{N}.$$

Отсюда следует, что метод многочастотной параллельной передачи информации позволит уменьшить вероятность деструктивного воздействия на посторонние радиостанции и повысить энергетическую скрытность передачи. Однако, как с очевидностью следует из формул (2)-(4), теоретически использование этого метода по

сравнению с режимом «быстрой» (внутрибитовой) ППРЧ не улучшают вероятностно-временных показателей по приему сообщений, т. к. в обоих случаях энергия передаваемого сигнала остается одинаковой:

$$E_{\text{вс}} = P_{\text{изл}} T_{\text{вс}};$$

$$E_{\text{мс}} = \frac{P_{\text{изл}}}{N} T_{\text{мс}} = \frac{P_{\text{изл}}}{N} T_{\text{вс}} N = E_{\text{вс}}.$$

Вместе с тем, как показало моделирование с использованием спектрограмм реального эфира (см. рис. 11), практически переход от скорости передачи 500 бит/с (полоса частот, занимаемая ЧТ сигналом  $\Delta f_{500} \approx 1,2$  кГц) к скорости передачи 10 бит/с (полоса частот  $\Delta f_{10} \approx 25$  Гц) при выборе рабочих частот по псевдослучайному закону вероятность попадания низкоскоростного (узкополосного) сигнала в полосу частот со спектральной плотностью помех меньше заданной величины  $v_{(2)}^2$ , оказалось выше на  $\Delta p = 3 \div 5 \%$ , чем при высокоскоростной передаче, что, как показали расчеты, позволяет снизить вероятность неприема блока сообщения даже при использовании кода Хемминга в 2-3 раза при высоких требованиях к вероятности правильного приема ( $p_{\text{пр}} > 0,98$ ).

При предварительном исключении из списка разрешенных для использования рабочих частот, частотных участков, занимаемых постоянно работающими стационарными мощными широкополосными источниками излучения, типа показанного на фрагменте А на рис. 13 (моделирование наиболее простого варианта использования принципов когнитивного радио), значения  $\Delta p$  превысило 5 %.

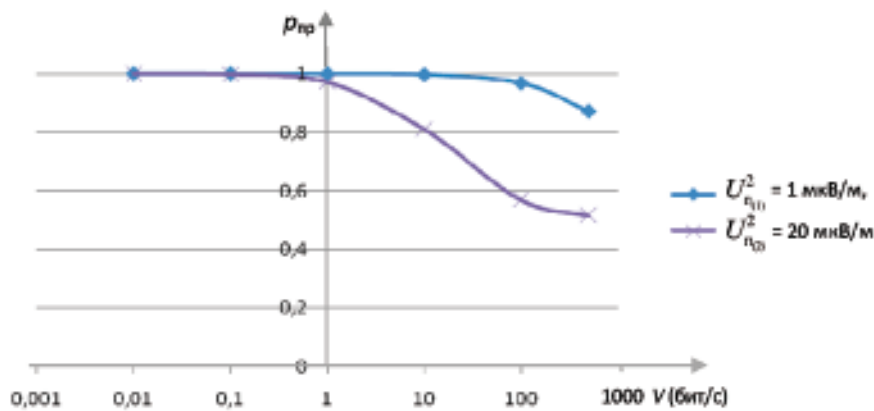


Рис. 12 — Вероятность правильного приема бита сообщения для трассы протяженностью 6 тыс. км ( $n = 2$ ), мощности излучения  $P_{\text{изл}} = 10$  Вт при разных скоростях передачи  $V$

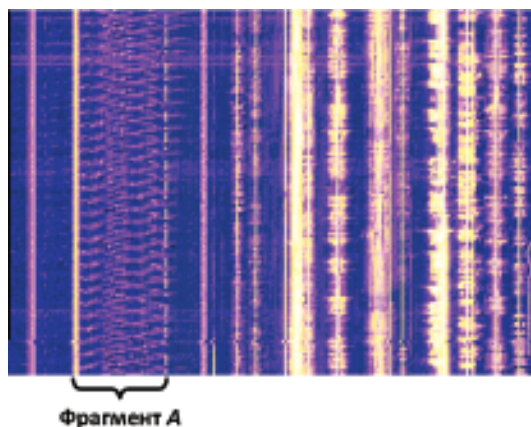


Рис. 13. Спектрограмма реального участка диапазона с примером постоянно действующего широкополосного источника излучения на фрагменте А ( $\Delta f \approx 100$  кГц)

Исходя из изложенного, представляется практически важным и актуальным выбор метода эффективного кодирования для различных вариантов многочастотной передачи с учетом применения системы когнитивной связи в части автоматического использования данных от ПАК РМ.

Из приведенных материалов следует, что для повышения эффективности радиосвязи необходимо реализовать резкое уменьшение скорости передачи до  $0,1 \div 0,01$  бит/с, с соответствующим увеличением числа каналов передачи/приема информации. Действительно, как следует из анализа графика на рис. 10 для доведения информации до абонента при скорости передачи  $V = 0,1$  бит/с даже при  $v^2 = v_{(2)}^2$  необходимо обеспечить мощность излучения сиг-

нала  $P_{\text{изл}} > 40$  Вт для трассы протяженностью 9 тыс. км, в то время как при скорости передачи 500 бит/с для достижения той же дальности потребуется мощность излучения более 100 кВт.

Вместе с тем, при работе сверхзаклопосными сигналами (полоса сигнала менее 1 Гц для ДКМ диапазона волн) следует обратить внимание на необходимость использования высокостабильных опорных генераторов для РПУ и РПДУ [26], а также учесть влияние эффекта Доплера в ДКМ канале, поскольку вследствие быстрого перемещения отражающих радиосигналы слоев ионосферы изменение рабочей частоты в точке приема относительно частоты передачи может составлять в среднем от  $\pm 0,5$  до  $\pm 0,75$  Гц, а в сумеречное время достигает от  $\pm 3$  до  $\pm 5$  Гц [27].

Очевидно, что в этом случае использование стандартных методов для приема сверхзаклопосных сигналов с полосой  $\Delta f < 1$  Гц становится проблематичным и требует дополнительной проработки. При этом требуется разработка нетрадиционных методов приема и обработки таких сигналов.

### Заключение

На сегодня практически весь радиочастотный диапазон распределен и лицензирован, однако используется достаточно неэффективно. Внедрение когнитивной связи для радиочастотного спектра, а также новых принципов построения декаметровых радиолиний с использованием SDR-технологий, позволит существенно повысить характеристики связи в части устойчивости и безопасности в условиях воздействия случайных и преднамеренных помех.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Авдонин Д.В., Рындык А.Г. Интеллектуальные радиосистемы: когнитивное радио // Информационные технологии. Системы, средства связи и управления: Информационно-аналитический сборник. / Под ред. С.В. Ионова; ОАО «Концерн «Созвездие». — Воронеж: №1, 2012. — С. 115–117.
2. Mitola J. III. Cognitive Radio for Flexible Mobile Multimedia Communications. // Mobile Multimedia Communications (MoMuC'99), IEEE International Workshop, San Diego, CA, USA, Nov. 1999. — P. 3–10.
3. Кизима С.В., Митченков С.Г., Емельяников Б.Б. Когнитивные радиотехнологии. Аспекты практической реализации. // Электросвязь. №9, 2014. — С. 43–47.
4. Бутенко В.В., Пастух С.Ю. Итоги Всемирной конференции радиосвязи 2012 года. // Электросвязь. №3, 2012. — С. 5–11.
5. Михалевский Л.В. Когнитивное радио — переходная технология на пути к более рациональному использованию радиочастотного спектра. / Материалы НТС МСЭ (Армения, 28–30 апреля 2008 г.).
6. Панорамный цифровой приемник «ST-093»: Руководство по эксплуатации СКФТ.467149.008РЭ.
7. Евин И.А. Синергетика мозга. — М.: Регулярная и хаотическая динамика, 2005. — 108 с.
8. Анализатор спектра в реальном масштабе времени R&S FSVR, R&S FPS [электронный ресурс] / www.rohde-schwarz.com.



9. Fundamentals of Real-Time Spectrum Analysis. Tektronix. P. 52. [электронный ресурс] / www.Tektronix.com/rsa.
10. **Дьяконов В.П.** Современные цифровые анализаторы спектра. // Компоненты и технологии. №5, 2010.
11. **Банников И.М., Березовский В.А., Валеев М.М., Хазан Г.К.** Радиоприемные устройства и радиоприемные комплексы перспективных узлов коротковолновой связи. / Международная научно-техническая конференция «Радиотехника, электроника и связь, РЭИС-2011», 2011. — С. 121–125.
12. **Николашин Ю.Л., Будко П.А., Жолдасов Е.С., Жуков Г.А.** Перспективные методы повышения помехоустойчивости декаметровых радиолоний. // Научные технологии в космических исследованиях Земли. №1, 2014. — С. 30–37.
13. **Каплун Д.И.** Нерекурсивные цифровые фильтры без умножения. // Информация и космос — СПб.: ЗАО «Институт Телекоммуникаций». №1, 2009. — С. 43–51.
14. **Каплун Д.И., Клионский Д.М., Олейник А.Л., Вознесенский А.С., Жукова Н.А., Гульванский В.В., Петровский А.А.** Применение полифазных банков фильтров в задачах мониторинга широкого частотного диапазона. // Известия вузов России. Радиоэлектроника. 2013. Вып. 3. — С. 38–43.
15. **Клионский Д.М., Каплун Д.И., Вознесенский А.С., Гульванский В.В.** Алгоритм взвешенного перекрывающегося сложения для обработки векторных сигналов в задачах радиомониторинга. // Цифровая обработка сигналов. №4, 2014. — С. 2–8.
16. Многоканальный цифровой приемник на ПЛИС. [электронный ресурс] <http://www.podelise.ru/>документы</ дата конвертации 28.08.2012>.
17. **Николашин Ю.Л., Жолдасов Е.С., Жуков Г.А., Будко П.А.** Прием сообщений в декаметровых радиолониях с использованием многоканального радиоприемного устройства. // Актуальные вопросы развития систем и средств воздушно-космической обороны. Сборник докладов V НТК М.: ОАО «ГСКБ «Алмаз-Антей», 2014, С. 546–553.
18. **Ямпурин Н.П., Станков В.С., Сучкова А.Б., Токарева В.П.** Цифровой синтезатор частот. Патент РФ №2030092 от 27.02.1995.
19. **Куприянов А.И.** Радиоэлектронная борьба. — М.: Вузовская книга, 2013. — 360 с.
20. **Жолдасов Е.С., Жуков Г.А., Фатюхин И.Н., Будко Н.П.** Аппаратно-программный комплекс технического контроля декаметровых радиолоний. // Научные технологии в космических исследованиях Земли. №3, 2013. — С. 24–27.
21. **Финк Л.М.** Теория передачи дискретных сообщений. — М.: Советское радио, 1970. — 728 с.
22. **Казанцев А.Н.** Поглощение коротких радиоволн в ионосфере и напряженность поля в месте приема. // Известия АН СССР. №9, 1947.
23. **Неволин Т.Н., Щепотин В.И.** Организация и планирование радиосвязи на морском флоте. Уч. пос. — М.: «Транспорт», 1977. — 262 с.
24. **Жуков Г.А.** К вопросу о влиянии снижения частоты излучателя на соотношение величин напряженности полей для различных коротковолновых радиотрасс. // Вопросы радиоэлектроники. Сер. Техника проводной связи. Вып. 8, 1974. — С. 76–79.
25. **Николашин Ю.Л., Будко П.А., Жолдасов Е.С., Жуков Г.А.** Перспективные методы повышения помехоустойчивости декаметровых радиолоний. // Научные технологии в космических исследованиях Земли. №1, 2014, С. 30–36.
26. **Зуев Э.В., Рыжков А.В., Пелюшенко А.С., Саматов В.И., Сахаров Б.А.** Первичный эталонный источник VCH-1008С систем тактовой сетевой синхронизации в цифровых сетях связи. // Электросвязь. №2, 2013. — С. 32–33.
27. **Поляков В.** Доплеровские ионосферные наблюдения. Доклад на слете RU-QRP. / Издательство Российского клуба радиооператоров малой мощности. №43, 2013.

*В.И. Мирошников*

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

*С.В. Костарев*

начальник Военной академии связи имени Маршала Советского Союза С.М. Будённого

## **ВЫБОР ПОКАЗАТЕЛЕЙ И КРИТЕРИЕВ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ СВЯЗИ**

**АННОТАЦИЯ.** При постановке и решении задачи оценки эффективности функционирования синтезируемых сложных систем связи центральным является вопрос выбора показателей, численные значения которых позволили бы объективно определить различные варианты предпочтения при сравнении их с требованиями или при сравнении показателей эффективности различных систем между собой. Для решения данной задачи предлагается использование имитационного моделирования, являющегося одним из наиболее мощных средств при анализе функционирования и синтезе структур сложных систем.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** показатели качества телекоммуникационных услуг, эффективность обслуживания трафика, нагрузочная способность коммутационного оборудования, имитационное моделирование.

Выбор показателей для оценки эффективности функционирования систем связи определяется, прежде всего, предъявляемыми к ней требованиями. Среди многих требований, которым должен удовлетворять показатель, главным является возможность оценки им степени соответствия объекта своему функциональному назначению. Кроме того, при использовании математических методов исследования, желательно, чтобы он был единственным. В то же время, чтобы показатель эффективности достаточно полно характеризовал исследуемую систему или процесс, он должен учитывать все основные особенности и свойства исследуемой системы, а также условия ее функционирования и взаимодействия с внешней средой.

Показатель качества — это количественная мера одного или большего числа признаков качества услуги. Показатели качества телекоммуникационных услуг делятся на две группы:

показатели, характеризующие эффективность обслуживания трафика;

показатели качества обслуживания пользователей.

К показателям эффективности обслуживания трафика относятся:

характеристики работы оборудования;  
нагрузочная способность пучков межстанционных каналов, соединительных линий (СЛ) и коммутационного оборудования;

временные задержки на элементах сети;  
доступность службы;  
доступность соединения;  
непрерывность связи;  
качество доставки информации пользователю;

задержки при установлении соединения от абонента до абонента.

К показателям качества обслуживания пользователей относятся:

доступность службы;  
доступность соединения;  
непрерывность связи;  
качество доставки информации пользователям;

задержки при установлении соединения от абонента до абонента.

Показатели качества делят на виды. Внутри вида все показатели (параметры) подразделяют-



ся на группы. Многообразие показателей, с помощью которых оценивается качество служб и элементов сети, так велико, что возникает необходимость формировать интегральный показатель для оценки качества предоставления связи пользователям.

Формирование интегрального показателя осуществляется последовательным сведением к нему единичных показателей через обобщенные. При этом базируются на следующую терминологию.

Показатели качества — характеристики деятельности служб связи по обеспечению связи и обслуживанию пользователей.

Параметры качества — величины, полученные каким-либо способом, с помощью которых оцениваются показатели качества.

Единичный показатель качества — показатель, характеризующий работу одного элемента или одной службы телекоммуникационной сети, величина которого получена путем расчета. Исходные параметры могут быть получены по данным постоянных или периодических измерений или данным статистической отчетности.

Обобщенный показатель качества — показатель, формируемый из единичных показателей качества одного вида по выделенным группам показателей и характеризующий работу сети и ее служб в целом

Интегральный показатель качества — показатель, характеризующий деятельность оператора по предоставлению связи с гарантированным качеством обслуживания пользователей и при нормированном качестве работы сети.

К параметрам для вычисления единичных показателей телекоммуникационных услуг относятся:

**Параметры качества обслуживания вызовов** (измеряются по элементам сети): количество вызовов, потерянных на элементах сети из-за повреждений оборудования; количество вызовов, потерянных на элементах сети из-за занятости соединительных линий или приборов коммутационного оборудования; количество поступивших вызовов за период наблюдений; количество успешных вызовов; количество вызовов, закончившихся разговором; количество вызовов, не закончившихся разговором из-за занятости абонентской линии или отсутствия ответа вызываемого абонента.

**Параметры, характеризующие нагрузочную способность** пучков межстанционных каналов

и коммутационного оборудования: измеренная нагрузка в ЧНН; нормальная нагрузка в ЧНН; повышенная нагрузка в ЧНН; потерянная нагрузка за период наблюдений (Эрл); поступившая нагрузка (Эрл) за период наблюдений.

**Параметры, характеризующие временные задержки** на элементах сети: время установления соединения элементом сети; количество вызовов, для которых величина отклонения времени установления соединения элементом сети от нормативного превышает допустимую величину; общее количество поступивших вызовов.

**Параметры, характеризующие время возвращения элементов сети в исходное состояние:** количество вызовов, для которых величина отклонения времени разъединения соединения элементом сети от нормативного превышает допустимую величину; общее количество соединенных вызовов.

**Параметры доступности связи:** количество безуспешных попыток доступа к соединению; общее количество попыток доступа к соединению за период измерений.

**Параметры непрерывности связи:** число соединений с преждевременным разъединением; общее количество соединений, установленных за период наблюдений.

**Параметры качества передачи информации** пользователя: параметр громкости; средние экспертные оценки качества передачи речи; Количество вызовов, для которых величины отклонений параметров передачи речи от нормативных превышают допустимые; коэффициент ошибок при передаче цифровой информации; количество вносимых единиц искажения квантования; общее количество вызовов.

**Параметры, характеризующие временные задержки** при установлении соединения от абонента до абонента (измеряются как по элементам, так и по сети в целом): Группа параметров, характеризующих время установления соединения из конца в конец; время ожидания тонального сигнала «Ответ станции»; время ожидания после набора номера; количество вызовов, для которых величина времени ожидания от нормативного значения превышает допустимую величину; количество проверенных вызовов. Группа параметров, характеризующих время возвращения элементов сети в исходное состояние: время разъединения установленного соединения; количество вызовов, для которых величина времени разъединения от нормативного превышает

допустимое значение; общее количество вызовов.

Единичные показатели качества работы сети рассчитываются из соответствующих параметров и характеризуют качество связи, обеспечиваемое элементами сети. Такими показателями являются:

**Показатели качества обслуживания вызовов:** вероятность потерь по вызовам (из-за повреждений оборудования, занятости приборов коммутационного оборудования и/или межстанционных соединительных линий/каналов), вероятность потерь по времени; коэффициент вызовов с ответом; коэффициент эффективности вызовов.

Показатели, характеризующие нагрузочную способность пучков межстанционных каналов и коммутационного оборудования: вероятность потерь по нагрузке; коэффициенты перегрузки пучков соединительных линий и коммутационного оборудования станции.

Показатели, характеризующие временные задержки на элементах сети: показатели, характеризующие время установления соединения элементами сети; доля вызовов, поступивших на элемент сети, для которых величина отклонения времени установления соединения от нормативного значения превышает допустимую величину; показатели, характеризующие время возвращения элементов сети в исходное состояние; доля вызовов, для которых величина отклонения времени разъединения установленно-го соединения от нормативного значения превышает допустимую величину.

Показатели, характеризующие качество обслуживания вызовов, определяются по формулам:

*Вероятность потерь по вызовам*  $P_B$  вычисляется с помощью параметров, характеризующих качество обслуживания вызовов по формуле:

$$P_B = (N_{нв} + N_{зв})/N,$$

где  $N_{нв}$  — количество вызовов, потерянных из-за повреждений оборудования;  $N_{зв}$  — количество вызовов, потерянных из-за занятости соединительных линий или приборов коммутационного оборудования;  $N$  — количество поступивших вызовов.

*Вероятность потерь по вызовам из-за повреждений оборудования* вычисляется с помощью соответствующих параметров, характеризующих качество обслуживания вызовов по формуле:

$$P_n = N_{нв}/N,$$

где  $N$  — количество вызовов, поступивших на элемент сети в направлении связи;  $N_{нв}$  — количество вызовов, потерянных из-за повреждений оборудования.

*Вероятность потерь по вызовам из-за занятости соединительных линий или коммутационного оборудования*  $Q_3$  вычисляется с помощью соответствующих параметров:

$$Q_3 = N_{зв}/N,$$

где  $N$  — количество поступивших вызовов на элемент сети в направлении связи;  $N_{зв}$  — количество потерянных вызовов из-за занятости соединительных линий или приборов коммутационного оборудования.

*Вероятность потерь по времени*  $P_t$  вычисляется с помощью соответствующих параметров по формуле:

$$P_t = t_{но}/t,$$

где  $t_{но}$  — время, в течение которого телефонный вызов не может быть обслужен;  $t$  — величина всего контролируемого промежутка времени.

*Коэффициент вызовов с ответом*  $K_{во}$  вычисляется с помощью соответствующих параметров по формуле:

$$K_{во} = N_{во}/N,$$

где  $N_{во}$  — количество вызовов, окончившихся сигналом «Контроль посылки вызова» или «Занято»;  $N$  — общее количество вызовов.

*Коэффициент эффективности вызовов*  $K_{эв}$  вычисляется с помощью соответствующих параметров по формуле:

$$K_{эв} = K_{вр}/N,$$

где  $K_{вр}$  — количество вызовов, закончившихся разговором;  $N$  — общее количество вызовов.

*Коэффициент неэффективности вызовов*  $K_{нр}$  (код Е1305) вычисляются с помощью соответствующих параметров по формуле:

$$K_{нр} = N_{нр}/N,$$

где  $N_{нр}$  — количество вызовов, не закончившихся разговором из-за занятости абонентской линии или отсутствия ответа вызываемого абонента;  $N$  — общее количество вызовов.

Показатели нагрузочной способности пучков межстанционных соединительных линий (МСЛ) и станционного оборудования вычисляются по формулам:

Вероятность потерь по нагрузке  $P_n$  вычисляются с помощью соответствующих параметров по формуле:

$$P_n = Y_{пн} / Y,$$

где  $Y_{пн}$  — потерянная нагрузка (Эрл) за период измерений (ЧНН);  $Y$  — поступившая нагрузка (Эрл) за то же время (ЧНН).

Коэффициенты перегрузки пучков МСЛ и коммутационного оборудования  $Z_1, Z_2$  вычисляются с помощью соответствующих параметров по формуле:

$$Z_1 = Y_{и.чнн} \cdot 100 \% / Y_{н.чнн},$$

$$Z_2 = Y_{п.чнн} \cdot 100 \% / Y_{н.чнн},$$

где  $Z_1, Z_2$  — коэффициенты перегрузки для нормальной и повышенной нагрузки в ЧНН;  $Y_{и.чнн}$  — измеренная нагрузка в ЧНН;  $Y_{н.чнн}$  — нормальная нагрузка в ЧНН;  $Y_{п.чнн}$  — повышенная нагрузка в ЧНН.

Показатели, характеризующие временные задержки на элементах сети вычисляются по своим параметрам по формуле:

$$Q_{1нэ} = N_{1нэ} / N_{оэ}; \quad Q_{2нэ} = N_{2нэ} / N_{оэ};$$

где  $Q_{1нэ}$  — доля вызовов, для которых величина отклонения времени установления соединения элементом сети от нормативного значения превышает допустимую величину;  $N_{1нэ}$  — количество таких вызовов;  $Q_{2нэ}$  — доля вызовов, для которых величина отклонения времени разъединения установленного соединения от нормативного значения превышает допустимую;  $N_{2нэ}$  — количество таких вызовов;  $N_{оэ}$  — общее количество проверенных вызовов на элементе сети.

Обобщенные показатели качества работы сети для групп вычисляются непосредственно с помощью параметров качества.

Вероятность отказа в установлении соединения вычисляется с помощью соответствующих параметров по формуле:

$$P_0 = Q/N,$$

где  $Q$  — число безуспешных попыток доступа к соединению;  $N$  — общее число попыток доступа к соединению за период измерения.

Вероятность преждевременного разъединения установленного соединения вычисляется с помощью соответствующих параметров по формуле:

$$P_p = R/N,$$

где  $R$  — число соединений с преждевременным разъединением;  $N$  — общее число соединений,

последовательно установленных за период измерений.

Показатели качества, характеризующие временные задержки при установлении соединений из конца в конец вычисляются с помощью параметров по каждой подгруппе по формуле:

$$Q_{лн} = N_{лн} / N_{в}; \quad Q_{нр} = N_{нр} / N_{в};$$

где  $Q_{лн}$  — доля вызовов, для которых величина отклонения времени ожидания от нормативного значения превышает допустимую;  $N_{лн}$  — количество таких вызовов;  $Q_{нр}$  — доля вызовов, для которых величина отклонения времени разъединения соединения от нормативного значения превышает допустимую величину;  $N_{нр}$  — количество таких вызовов;  $N_{в}$  — общее количество проверенных вызовов.

Обобщенные показатели качества обслуживания пользователей рассчитываются по группам показателей для всех служб сети.

Интегральный показатель качества рассчитывается из обобщенных показателей качества работы сети и обслуживания пользователей. Для расчетов используются не все обобщенные показатели, а несколько наиболее важных показателей из каждой группы. Выбор показателей определяется экспертами.

Каждый выбранный показатель имеет свой весовой коэффициент. Весовые коэффициенты определяются методом экспертных оценок, Группа независимых экспертов определяет значимость каждого из выбранных показателей для оценки качества телекоммуникационных услуг.

Все перечисленные показатели актуальны для оценки качества телекоммуникационных услуг функционирующей системы, особенно когда возникает необходимость увеличения пользователей. При проектировании мультисервисных сетей с помощью данных показателей и прогнозируемой нагрузки определяются необходимые параметры их элементов. Для оценки эффективности элементов мультисервисной сети, спроектированной с учетом данного условия, требуется выбрать показатель, наиболее полно характеризующий их соответствие функциональному предназначению.

Наиболее полную характеристику эффективности функционирования сложных систем связи дает вероятность своевременной доставки сообщений различного вида и категорий срочности при условии, что другие показатели не ухудшают своих значений. Этот показатель

обладает достаточной общностью и универсальностью, характеризует узел связи с оперативнотехнической точки зрения, а его заданное значение определяется требованиями системы управления к системе связи и поэтому находит широкое применение для оценки эффективности, как систем связи, так и их элементов.

Исходя из этого, зависимость эффективности сложных систем связи ( $W_{\text{ССС}}$ ) в процессе обеспечения связи можно представить в виде

$$W_{\text{ССС}} = F(P_{\text{ССС}}), \quad (2.1)$$

где  $P_{\text{УС}}$  — своевременность прохождения сообщений по сложным системам связи.

Математическое выражение этого показателя имеет следующий вид:

$$P_{\text{УС}} = P(t_{ij} \geq T_{ij(\text{тр})}), \quad i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m}, \quad (2.2)$$

где  $t_{ij}$  — время прохождения через ССС сообщений  $i$ -го вида и  $j$ -ой категории срочности;  $T_{ij(\text{тр})}$  — требуемое время прохождения по ССС заданного потока сообщений  $i$ -го вида и  $j$ -ой категории срочности.

Очевидно, что в современных условиях особое значение приобретает оценка такой важной составляющей в характеристике ССС, которой являются затраты на его построение и функционирование ( $R$ ). Без учета этой характеристики сегодня невозможно принять обоснованное решение.

Таким образом, вероятность своевременного прохождения сообщений по узлу связи является обобщенным показателем, по числовому значению которого можно судить об эффективности функционирования СУС.

Критерием выбора рационального варианта организационно-технической структуры ССС ВО в работе предлагается использовать следующее правило:

$$P_{\text{УС}(ij)} \geq P_{\text{УС}(ij(\text{тр})} | R \rightarrow \min \quad (2.3)$$

То есть рациональной структурой считается структура, у которой вероятность своевременного прохождения по узлу связи потока сообщений  $i$ -го вида и  $j$ -ой категории срочности не меньше требуемой, а стоимость реализации данной структуры минимальна.

Для расчета своевременности передачи сообщений различного вида и категорий срочности предлагается разработать имитационную модель функционирования ССС. На этом этапе необходимо выделить наиболее важные элемен-

ты, влияющие на значения выбранных показателей эффективности, а также определить связи между этими элементами. При этом система сводится к одной из известных задач исследования операций. Лучше всего модель представить стохастической сетью массового обслуживания, что обусловлено информационным характером функционирования системы. Сеть представляет собой совокупность взаимосвязанных систем массового обслуживания (СМО), каждая из которых интерпретирует один из элементов узла связи.

На основе предлагаемой модели ССС, представленной в виде СМО, для определения эффективности управления узлом связи необходимо определить вероятность своевременной передачи сообщений различного вида и категории срочности. Оценка может быть проведена различными методами:

- аналитическим;
- имитационным;
- комбинированным.

Аналитические методы сводятся к описанию сети в виде математических моделей. Зависимость между входными и выходными параметрами исследуемой системы и внешних воздействий представляются в аналитической форме. Аналитические модели, основаны на представлении исследуемых систем в виде экспоненциальных стохастических сетей. Однако эти модели строятся с учетом ряда допущений, каждое из которых в той или иной степени ведет к нарушению адекватности модели. Вследствие этого, значения характеристик исследуемого объекта, определяемых на основе аналитических моделей, носят приближенный характер и требуют оценки вносимой погрешности. Кроме этого, при построении аналитических моделей возникают такие трудности, как:

невозможность представления обслуживания заявок одновременно в нескольких приборах;

трудности получения зависимостей в явной аналитической форме при большом числе СМО в сети; сеть, содержащая более трех СМО, уже с большим трудом поддается аналитическому исследованию.

Имитационное моделирование позволяет преодолеть основные ограничения, свойственные аналитическим моделям. Имитационные модели могут использоваться при исследовании систем, сложность которых изменяется в широ-

ких пределах. При этом сложность создания и использования имитационных моделей, не обнаруживает столь резкого роста, как это бывает в аналитических моделях, с увеличением сложности исследуемой системы.

Имитационное моделирование является одним из наиболее мощных средств математического моделирования при анализе функционирования и синтезе структур сложных систем. В широком смысле имитационное моделирование означает процесс создания логико-матема-

тической модели исследуемой системы, описывающей структуру и поведение системы и принимающей обычно форму машинной программы, а также проведение экспериментов с моделью на ЭВМ с целью получения данных о функционировании системы в течение определенного интервала времени.

При использовании метода имитационного моделирования процесс функционирования системы представляется в виде алгоритма, называемого имитационной моделью.

## ЛИТЕРАТУРА

1. **Кулешов И.А.** Требования к методам моделирования телекоммуникационных сетей. Труды 11 Российской научно-технической конференции. КНИИТМУ. Новые информационные технологии в системах связи и управления. Калуга. 2014 г. С. 201–206.

2. **Кулешов И.А.** Исследование подвижной сети связи методом имитационного моделирования. 65 Научно-техническая конференция. 2010. СПбНТО-РЭС. С. 86–87.

3. **Назаров А.Н., Сычев К.И.** Модели и методы расчета показателей качества функционирования узлового оборудования и структурно-сетевых параметров сетей связи следующего поколения. — Красноярск. — ООО «Поликом», 2010. — 388 с.

4. **Маглинец Ю.А.** Анализ требований к автоматизированным информационным системам. Москва. — БИНОМ. 2011. — 200 с.

5. **Грекул В.И., Коровкина Н.Л., Куприянов Ю.В.** Методические основы управления ИТ-проектами. Москва. — БИНОМ. 2011. — 390 с.



*И.А. Кулешов*

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

*М.А. Коцыняк*

профессор Военной академии связи имени Маршала Советского Союза С.М. Будённого

*О.С. Лаута*

адъюнкт, Военная академия связи имени Маршала Советского Союза С.М. Будённого

## **БЕЗОПАСНОСТЬ СОВРЕМЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЕЙ**

**Аннотация.** В рамках решения задачи обеспечения защищенности информационно-телекоммуникационных сетей от воздействия компьютерной разведки дана классификация компьютерных атак. На основании анализа их структуры, основных функций и принципов действия разработана методика оценки стратегии информационного воздействия, в основе которой использован метод анализа иерархий.

**Ключевые слова:** метод анализа иерархий, информационное воздействие, компьютерные атаки, информационно-телекоммуникационная сеть.

В настоящее время назрела необходимость кардинального повышения эффективности принимаемых решений в рамках создания современной системы связи ВС РФ. Новые задачи поставлены в Военной доктрине РФ, Стратегии национальной безопасности Российской Федерации до 2020 года, Морской доктрине Российской Федерации на период до 2020 года, Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации [1].

Новые задачи появились в силу следующих причин:

изменения характера воздействия на противника (на всю глубину его территории одновременно в глобальном информационном пространстве, в воздушно-космическом пространстве, на суше и море);

появившейся возможности избирательности объектов поражения, увеличением скорости маневра войсками (силами) и огнем, применение различных мобильных группировок войск (сил);

усиления централизации и автоматизации управления войсками и оружием в результате перехода от строго вертикальной системы управления к глобальным сетевым автоматизирован-

ным системам управления войсками (силами) и оружием.

В связи с этим важной задачей является обеспечение достаточной степени защищенности информационно-телекоммуникационных сетей (ИТКС) от воздействий компьютерной разведки (КР). С учетом разнообразия факторов информационного воздействия необходимо оценить стратегию комплексного информационного воздействия на элементы ИТКС, что позволит реализовать дифференцированный подход к обеспечению информационной устойчивости ИТКС и ее элементов.

При рассмотрении вопроса защищенности ИТКС от КР определяющую роль играют целенаправленные воздействия на ИТКС (компьютерные атаки).

Результатом воздействия компьютерных атак (КА) являются блокирование управляющей информации и внедрение ложной информации, нарушение установленных регламентов сбора, обработки и передачи информации в автоматизированных системах управления, отказы, сбои в работе ИТКС, а также компрометация передаваемой (получаемой) информации [2].



Компьютерные атаки на элементы ИТКС реализуются в виде целенаправленных программно-аппаратных воздействий, приводящих к нарушению или снижению эффективности выполнения технологических циклов в ИТКС.

Все КА можно классифицировать по следующим признакам:

*1. По характеру воздействия:*

- пассивное;
- активное.

Пассивное воздействие на ИТКС — воздействие, которое не оказывает непосредственного влияния на работу ИТКС, но может нарушать ее политику безопасности. Пассивное удаленное воздействие практически невозможно обнаружить.

Активное воздействие на ИТКС — воздействие, оказывающее непосредственное влияние на работу ИТКС и нарушающее принятую в ней политику безопасности.

Практически все типы удаленных атак являются активными воздействиями. Особенностью активного воздействия по сравнению с пассивным является принципиальная возможность его обнаружения, так как в результате его осуществления в ИТКС происходят определенные изменения. В отличие от активного, при пассивном воздействии не остается никаких следов.

*2. По цели воздействия:*

- нарушение конфиденциальности информации;
- нарушение целостности информации;
- нарушение работоспособности (доступности) ИТКС.

При перехвате информации нарушается ее конфиденциальность.

При искажении информации нарушается ее целостность.

При нарушении работоспособности не происходит несанкционированного доступа, т. е. сохраняется целостность и конфиденциальность информации, однако доступ к ней легальных пользователей также невозможен.

*3. По условию начала осуществления воздействия:*

- атака по запросу от атакуемого объекта;
- атака по наступлению ожидаемого события на атакуемом объекте;
- безусловная атака.

В случае запроса злоумышленник ожидает передачи от потенциальной цели атаки запроса

определенного типа, который и будет условием начала осуществления воздействия. Инициатором осуществления начала атаки является атакуемый объект.

В случае наступления события, злоумышленник осуществляет постоянное наблюдение за состоянием операционной системы удаленной цели атаки и при возникновении определенного события в этой системе начинает воздействие. Инициатором осуществления начала атаки является атакуемый объект.

В случае безусловной атаки начало ее осуществления безусловно по отношению к цели атаки, то есть атака осуществляется немедленно и безотносительно к состоянию системы и атакуемого объекта. Следовательно, в этом случае злоумышленник является инициатором начала осуществления атаки.

*4. По наличию обратной связи с атакуемым объектом:*

- с обратной связью;
- без обратной связи (однаправленная атака).

Атака с обратной связью — атака, во время которой злоумышленник получает ответ от атакуемого объекта на часть своих действий. Эти ответы нужны, чтобы иметь возможность продолжить атаку и/или осуществлять ее более эффективно, реагируя на изменения, происходящие на атакуемой системе.

Атака без обратной связи — атака, происходящая без реакции на поведение атакуемой системы.

*5. По расположению атакующего относительно атакуемого объекта:*

- внутрисегментное;
- межсегментное.

Внутрисегментная атака — атака, при которой субъект и объект атаки находятся внутри одного сегмента сети, где сегмент — физическое объединение станций с помощью коммуникационных устройств не выше канального уровня.

Межсегментная атака — атака, при которой субъект и объект атаки находятся в разных сегментах сети.

*6. По количеству злоумышленников:*

- распределенная;
- нераспределенная.

Распределенная атака — атака, производимая двумя или более злоумышленниками на одну и ту же ИТКС, объединенными единым замыслом и во времени.

Нераспределенная атака проводится одним злоумышленником.

7. По уровню эталонной модели ISO/OSI, на котором осуществляется воздействие:

- физический;
- канальный;
- сетевой;
- транспортный;
- сеансовый;

- представительный;
- прикладной.

Для реализации активных КА злоумышленнику необходимо получить сведения о структуре ИТКС и ее сервисах, т. е. осуществить компьютерную разведку (КР) ИТКС.

Анализ известных видов КА (табл. 1) [3] позволяет сделать вывод о месте их проявления в ИТКС в соответствии с ЭМВОС. На рис. 1

Таблица 1

### Виды компьютерных атак

Вид компьютерной атаки	Область проявления	Признак проявления	Существующие средства и методы защиты
<i>1. «Ложная информация»</i>			
1.1. Логическая подмена сервера.	Маршрутизатор	Искажение таблицы адресации. Создание «ложных» серверов.	МСЭ Антивирусное ПО Криптозащита
1.2. Ввод ложной информации.	Прикладные процессы пользователей, системные журналы	Появление ложной информации, искажение записей в системных журналах.	Имитозащита Паролирование Антивирусное ПО
1.3. Проникновение в спец. базы данных и размещение ложной информации.	Базы данных специальной информации.	Несанкционированное обращение к базам данных	МСЭ Паролирование
<i>2. «Функциональное поражение»</i>			
2.1. Локальный отказ в обслуживании.	ПЭВМ.	Блокировка или перезагрузка ПЭВМ «изнутри» (вредоносное ПО, локально блокирующее работу ПО)	Антивирусное ПО Паролирование
2.2. Удаленный отказ в обслуживании.	ПЭВМ или сегмент сети	Блокировка или перезагрузка ПЭВМ «извне».	МСЭ Антивирусное ПО
2.3. Сканирование сети и ее уязвимостей.	Гипотетически уязвимые узлы сети (коммутационное оборудование, серверы, прикладные данные и т. п.)	Посылка запросов на предмет доступности узла. Анализ структуры заголовка Работа утилит анализа сетевой топологии.	МСЭ Антивирусное ПО («антишпионы»)
2.4. Сканирование протоколов передачи данных сети.	Операционная система Маршрутизатор	Запросы анализа стека протоколов TCP/IP	Криптозащита
2.5. Анализ сетевого трафика.	Канал связи	Перехват пакетов	Криптозащита
2.6. Взлом паролей.	Операционная система Прикладные процессы ПЭВМ	Работа внешних утилит генерации и подбора пароля	Антивирусное ПО МСЭ
2.7. Локальное проникновение в критически важный информационный сегмент	ПЭВМ	Работа программы НСД	Антивирусное ПО Паролирование

Окончание табл. 1

Вид компьютерной атаки	Область проявления	Признак проявления	Существующие средства и методы защиты
2.8. Удаленное проникновение в критически важный информационный сегмент	ПЭВМ МСЭ	Макровирусы, троянские вирусы во входящем трафике	Антивирусное ПО
2.9. «Спам».	ПЭВМ, МСЭ	Резкий рост входящего трафика и переполнение буфера	МСЭ
2.10. Разрушение информации и ПО.	ПЭВМ	Удаление или повреждение файлов и/или ПО	МСЭ Антивирусное ПО Паролирование
<i>3. «Разрыв соединения»</i>			
3.1. Логическое отключение абонентов	Сетевая карта ПЭВМ	Разрыв соединения	МСЭ, Антивирусное ПО
3.2. Перенаправление пакетов данных	маршрутизатор	Перенаправление трафика	Криптозащита

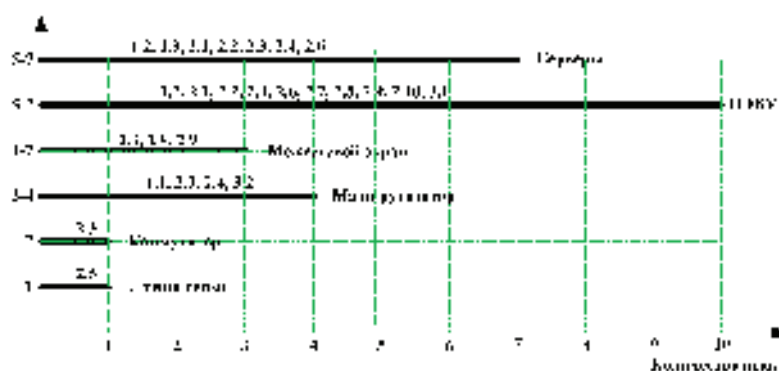


Рис. 1. Места проявления компьютерных атак в ИТКС

показана локализация КА на элементах (уровнях) ИТКС. Анализ системы информационного воздействия и материалов по видам воздействий показывает, что воздействия на элементы ИТКС осуществляются как непосредственно на объекте, так и через транспортную сеть ИТКС. Общий характер проявления КА на элементах ИТКС позволяет сделать вывод о том, что защита ИТКС от КА должна реализовываться в 2-х направлениях: защита транспортной сети, а также объектовая защита.

Учитывая, что каждая КА обладают предельными вероятностно-временными характеристиками, важное место имеет задача обоснования распределения КА по элементам ИТКС (определение стратегии — правила информационного воздействия).

Оценка опасности КА для ИТКС вызывает некоторое затруднение, связанное с недостаточ-

ной разработкой соответствующего методического аппарата. Поэтому для оценки опасности КА для ИТКС предлагается использовать метод анализа иерархий [4].

Метод анализа иерархии (МАИ) применяется в тех случаях, когда перед лицом, принимающим решение, стоит проблема выбора из ряда альтернатив. Альтернативы характеризуются некоторыми весами, зная которые, не составляет труда выбрать наилучшую из них. Трудность состоит в том, что веса заранее неизвестны. Они могут быть получены применением метода, включающего в себя следующие этапы:

- 1) Постановка задачи и цель ее решения.
- 2) Построение иерархии задачи.

3) Формирование матриц парных сравнений. Матрица строится для глобальной цели и для каждого из элементов промежуточных уровней.

4) Расчет собственных векторов и дополнительных величин по каждой из матриц парных сравнений.

5) Иерархический синтез оценок для получения искоемых весов.

Определим показатель опасности КА для ИТКС с помощью МАИ.

Первым этапом применения МАИ является декомпозиция задачи выбора с использованием иерархии (рис. 2). В простейшем виде иерархия строится с вершины (цели) через промежуточные уровни-критерии (техничко-экономические параметры) к самому нижнему уровню, который в общем случае является набором альтернатив. После воспроизведения задачи в виде иерархии устанавливаются приоритеты критериев, и оценивается каждая из альтернатив. В МАИ элементы иерархии сравниваются попарно по их отношению к общей для них характеристике, что приводит к результату, который может быть представлен в виде обратно-симметричной матрицы  $\|C_{ij}\|$ . Элементом матрицы является оцениваемая важность элемента иерархии  $i$  относительно элемента иерархии  $j$ .

Каждый предмет можно оценивать по многим показателям.

Критериями степени опасности КА относительно вскрытия элементов ИТКС примем:

- вероятность вскрытия линии связи (ЛС);
- вероятность вскрытия маршрутизатора (М);
- вероятность вскрытия коммутатора (К);
- вероятность вскрытия сервера (С);
- вероятность вскрытия межсетевого экрана (МЭ);

вероятность вскрытия персональных электронно-вычислительных машин (ПЭВМ).

Для формализации оценок экспертов в МАИ применяется шкала относительной важности

(табл. 2). Выбор градаций шкалы определен следующими условиями:

шкала должна давать возможность улавливать разницу в ощущениях экспертов при проведении сравнений, различать как можно больше оттенков чувств, которые имеют эксперты; эксперт должен быть уверенным во всех градациях своих суждений одновременно.

Если при сравнении одного фактора  $i$  с другим  $j$  получено  $c(i,j) = b$ , то при сравнении второго фактора с первым получаем  $c(j,i) = 1/b$ .

Опыт показал, что при проведении парных сравнений  $i$  и  $j$  в основном ставятся следующие вопросы: «Какой из элементов иерархии важнее или имеет большее воздействие?»; «Какой из них более вероятен?»; «Какой из них предпочтительнее?».

Исходя из экспертных оценок, строится матрица сравнений. Метод можно описать следующим образом. Допустим, заданы элементы одного уровня иерархии и один элемент следующего более высокого уровня. Нужно сравнить элементы уровня попарно, по их влиянию на элемент более высокого уровня, поместить числа, отражающие достигнутое при сравнении согласие во мнениях, в матрицу сравнений. Следующий шаг состоит в вычислении главного собственного вектора (СВ) матрицы, который после нормализации становится вектором приоритетов. Собственный вектор обеспечивает упорядочение приоритетов, а собственное значение является мерой согласованности суждений.

Умножив матрицу сравнений справа на полученную оценку вектора решения, получим новый вектор, который затем нормализуем. Разделив сумму компонент этого вектора на число компонент, найдем приближение к числу  $\psi_{\max}$ , называемому максимальным или главным

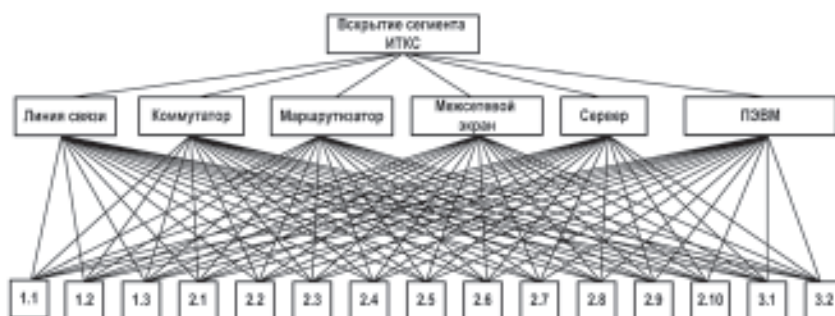


Рис. 1.2. Иерархия задачи вскрытия сегмента ИТКС

Таблица 2

**Шкала относительной важности (при сравнении двух объектов)**

Интенсивность относительной важности	Определение	Объяснение
0	Несравнимы	Эксперт затрудняется в сравнении
1	Равная важность	Равный вклад двух альтернатив в цель
3	Умеренное превосходство одного над другим	Опыт и суждения дают легкое превосходство одной альтернативы над другой
5	Существенное или сильное превосходство	Опыт и суждения дают сильное превосходство одной альтернативы над другой
7	Значительное превосходство	Одной из альтернатив дается настолько сильное превосходство, что оно становится практически значительным
9	Очень сильное превосходство	Очевидность превосходства одной альтернативы над другой подтверждается наиболее сильно
2, 4, 6, 8	Промежуточные решения между двумя соседними суждениями	Применяются в компромиссном случае
Обратные величины приведенных выше чисел	Если при сравнении одной альтернативы с другой получено одно из вышеуказанных чисел (например, 3), то при сравнении второй с первой получим обратную величину (т. е. 1/3)	

собственным значением и используемому для оценки согласованности, отражающей пропорциональность предпочтений. Чем ближе  $\psi_{\max}$  к  $f$  (числу элементов или видов действия в матрице), тем более согласован результат. Отклонение от согласованности может быть выражено индексом согласованности (ИС)  $(\psi_{\max} - f)(f - 1)$ .

Индекс согласованности сгенерированной случайным образом по шкале от 1 до 9 обратно-симметричной матрицы с соответствующими обратными величинами элементов называется

случайным индексом (СИ), значения которого для матриц порядка от 1 до 10 представлены в табл. 3.

Отношение ИС к среднему СИ для матрицы того же порядка называется *отношением согласованности* (ОС). Значение ОС, меньшее или равное 0,10, считается приемлемым.

Составим матрицу сравнения критериев опасности каждой КА, указанной в табл. 1, относительно вскрытия каждого элемента ИТКС (табл. 4). Результатом ее решения является

Таблица 3

**Значения случайного индекса для матриц порядка 1...10**

Порядок матрицы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Значение СИ	0,00	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Таблица 4

**Матрица сравнений критериев**

Элементы ИТКС	ЛС	М	К	С	МЭ	ПЭВМ	Собств. вектор	Вес критерия
ЛС	1	1/5	1	1/5	1/3	1/7	0,352	0,041
М	5	1	5	1	3	1/3	1,71	0,198
К	1	1/5	1	1/5	1/3	1/7	0,352	0,041
С	5	1	5	1	3	1/3	1,71	0,198
МЭ	5	1/3	5	1/3	1	1/5	0,907	0,105
ПЭВМ	7	3	7	3	5	1	3,608	0,418
							8,639	1





Рис. 3. Иерархия задачи вскрытия субэлементов маршрутизатора



Рис. 4. Иерархия задачи вскрытия субэлементов межсетевого экрана



Рис. 5. Иерархия задачи вскрытия субэлементов сервера

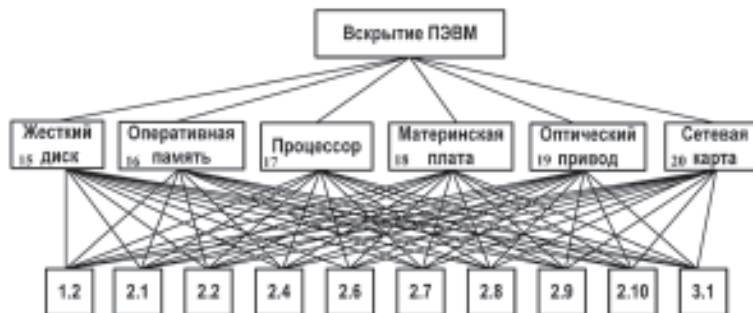


Рис. 6. Иерархия задачи вскрытия субэлементов ПЭВМ



Рис. 7. Иерархия задачи вскрытия субэлементов линии связи



Рис. 8. Иерархия задачи вскрытия субэлементов коммутатора

нормализованный вектор-столбец приоритетов критериев (0,041; 0,198; 0,041; 0,198; 0,105; 0,418), выражающий весовые значения критериев относительно общей цели (вскрытие ИТКС). Оценив согласованность данной матрицы, получим  $OS = 0,073$ , что является приемлемым значением.

Следующим шагом является построение матриц сравнений степени опасности КА относительно каждого субэлемента элемента ИТКС. Этот шаг, по своей сути, аналогичен предыдущему, поэтому приведем только результаты решения названных матриц в виде нормализованных векторов-столбцов приоритетов степени опасности КА относительно каждого субэлемента элемента ИТКС, выражающих весовые значения степени опасности КА:

Вероятность вскрытия маршрутизатора (рис. 3).

Вероятность вскрытия межсетевое экрана (рис. 4).

Вероятность вскрытия сервера (рис. 5).

Вероятность вскрытия ПЭВМ (рис. 6).

Вероятность вскрытия линии связи (рис. 7).

Вероятность вскрытия коммутатора (рис. 8).

На все оставшиеся субэлементы ИТКС опасность КА пренебрежимо мала

Таким образом, на основании анализа КА, их структуры, основных функций, принципов действия, разработана методика оценки стратегии информационного воздействия, позволяющая прогнозировать распределение КА по элементам ИТКС, определять очередность вскрытия элементов ИТКС и выявлять наиболее опасные КА. Это, в свою очередь, позволит формировать исходные данные для принятия мер по защите элементов ИТКС от КА (по выбору стратегии защищенного функционирования).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Военная доктрина Российской Федерации. 30 декабря 2014 г. в «РГ» — Федеральный выпуск №6570.

2. Коцьняк М.А., Кулешов И.А., Лаута О.С. Устойчивость информационно-телекоммуникационных сетей. — СПб., Издательство Политехнического университета. 2013. — 92 с.

3. Климов С.М. Методы и модели противодействия компьютерным атакам. — Люберцы.: Каталист, 2008. — 316 с.

4. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. — М.: Радио и связь, 1993. — 278с.

*А.И. Яшин*

доктор технических наук, профессор, ПАО «Интелтех»

*Н.Н. Мошак*

доктор технических наук, доцент, ПАО «Интелтех»

*Е.В. Давыдова*

ПАО «Интелтех»

## ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ И СТРУКТУРНЫЙ СИНТЕЗ ПАКЕТНЫХ МУЛЬТИСЕРВИСНЫХ СЕТЕЙ NGN

**АННОТАЦИЯ:** Предложены методы параметрического и структурного синтеза неоднородной пакетной инфотелекоммуникационной транспортной системы мультисервисной сети связи NGN на технологии IP-QoS, позволяющие осуществлять оптимизацию системы по оригинальному функциональному критерию эффективности при выполнении заданных требований к сквозному качеству передачи мультимедийного трафика и выбирать наиболее рациональный ее вариант при заданных условиях проектирования.

### Введение

Технологической основой информационного общества XXI века является Глобальная информационная инфраструктура (Global Information Infrastructure, GII) [1]. В этой связи выдвинута новая парадигма создания технологической основы GII на базе концепции пакетной сети следующего поколения (Next Generation Network, NGN) [2–4]. Базовыми принципами NGN являются разграничение функций коммутации и переноса информации различной природы, а так же функций управления вызовами и функций управления услугами в сетях указанного класса [2]. Коллективный доступ к пользовательским службам или инфоуслугам ИКС будущего, обеспечивает ее широкополосная пакетная мультисервисная сеть связи (МСС) — транспортный слой инфокоммуникационной сети NGN. В терминах модели взаимодействия открытых систем (ВОС) Международной организации по стандартизации (МОС) МСС образует область взаимодействия ИКС (рисунок 1), в состав которой входят абоненты мультисервисной сети, широкополосные сети доступа и мультипротокольная инфотелекоммуникационная транспортная система (ИТС), образующая пакетное коммуникационное ядро сети, которое

рассматривается в аспекте канального, сетевого и транспортного уровней ее архитектуры [5,6]. ИТС реализует услуги переноса (bearer service) разнородной информации между сетевыми окончаниями сети с заданным качеством сервиса (Quality of Services, QoS).

Создание национальной мультисервисной сети (ИКС) NGN, является задачей ближайшей перспективы [2–4]. В России директивными документами рекомендованы пакетные технологии IP-QoS и ATM для построения соответственно региональных (зоновых) и магистральных компонент национальной МСС [2]. Это порождает проблему проектирования современных пакетных мультисервисных сетей NGN.

В настоящее время известно достаточно много работ, посвященных моделям и методам расчета параметров сетевых интегральных технологий, которые составляют теоретическую базу исследования цифровых сетей связи с интеграцией служб (ЦСИС). Однако применение накопленного арсенала известных методов для исследования МСС и ее компонентов ограничивается, в частности, тем, что в качестве базовой структурно-сетевой задачи при исследовании ЦСИС, как правило, выбирается задача оптимизации структуры в традиционной постановке по стоимостному критерию с ограниче-

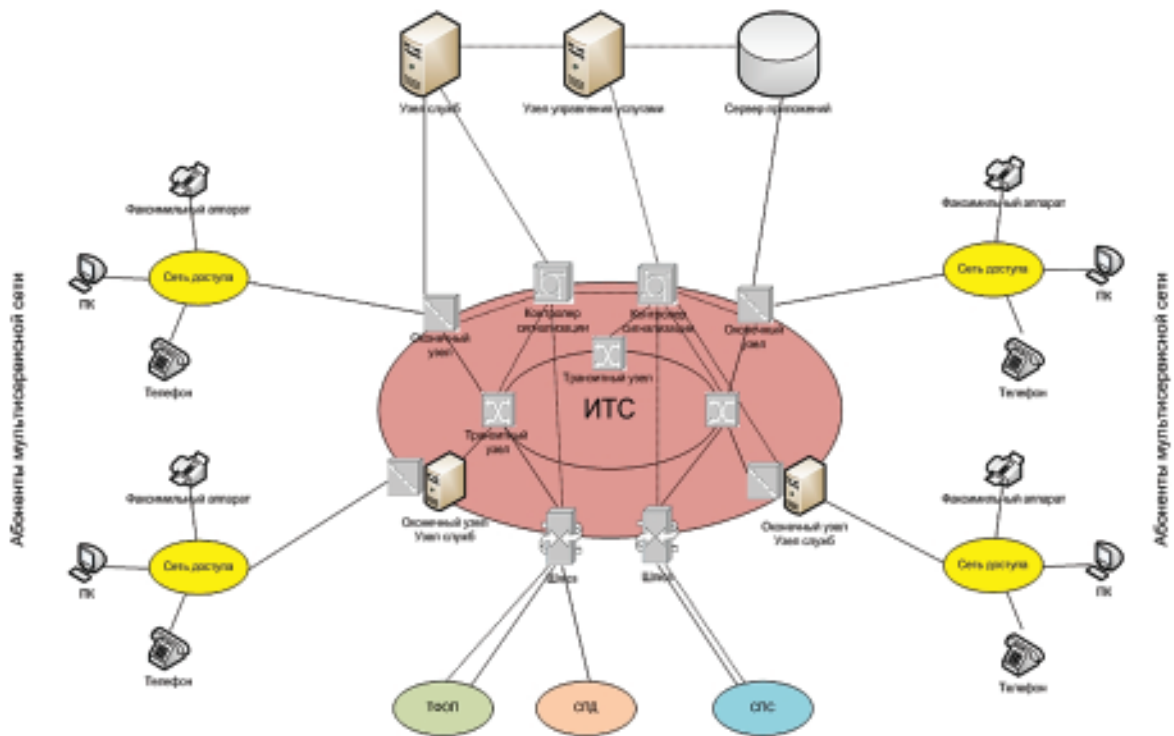


Рис. 1. Структурно-функциональная схема MCC NGN

ниями на среднее время доставки пакета (сообщения), дисперсию времени доставки и/или вероятность своевременной доставки [8–10], что не всегда адекватно формализует сетевые процессы в МСС с учетом специфики организации и обслуживания мультимедийных соединений (наличие обязательной фазы установления соединений с переменным сетевым ресурсом и заданной многокомпонентной потоковой структурой; блокировки мультимедийных вызовов с учетом избыточной мультимедийной нагрузки; фиксации заданного квантиля функции распределения времени пребывания изохронных пакетов в сквозном тракте передачи; смешивания потоков и их синхронизацию в мультимедийной сессии; задействование механизмов защиты и др.) в рамках единых инфотелекоммуникационных сетевых служб. При этом на фазе установления сессии сеть выступает как система массового обслуживания с потерями, а в случае успешного прохождения сигнального запроса устанавливаются фиксированные маршруты для передачи каждой потоковой компоненты в рамках единой мультимедийной сессии [5,7]. Так как, например, для качественного восприятия речи становится важным не среднее время пре-

бывания пакета в сети, а доля пакетов, не доставленных за заданное время, т. е. при ее анализе необходима фиксация заданного квантиля функции распределения времени пребывания пакета в сквозном тракте передачи. Кроме того, необходимо обеспечить (в рамках предоставления единой транспортной услуги в сессии) заданного уровня синхронизации разнородных мультимедийных потоковых компонент. Для пакетов данных важно не просто минимальное среднее время его доставки в сети (которое само по себе может оказаться достаточно большим и неприемлемым, например, для интерактивного обмена), а заданное среднее время [5,7]. Создание сетей следующего поколения не мыслимо также без применения механизмов защиты.

Несмотря на многочисленные публикации на тему гипотетического построения мультисервисных сетей NGN в России на сегодня отсутствуют реальные методы их проектирования. Ниже развиваются методы параметрического и структурного синтеза МСС, реализованной на технологии IP-QoS на основе общих принципов и аналитических моделей, разработанных и сформулированных в [5,7], которые могут быть востребованы операторами связи и проектными

организациями при создании национальной пакетной мультисервисной сети NGN и мультисервисных сетей специального назначения.

**Обоснование выбора показателей качества обслуживания мультимедийного трафика в МСС**

Пусть имеется мультисервисная сеть связи, топология которой описывается графом  $G = (I, J)$ , где  $I$  — множество вершин мощности  $N = |I|$ ,  $J \subseteq I \times I$  — множество ребер  $ij \in J$ . Каждое ребро графа моделирует межзвонковой линейно-цифровой тракт (ЛЦТ) связи пропускной способности  $V_{ij}$ , бит/с. Пакет может быть передан в ЛЦТ с  $V_{ij}$  вероятностью ошибки  $p_{ij}^{ou}$ . В графе  $G = (I, J)$  выделяются две вершины  $s \in I$  — источник и  $t \in I$  — получатель и на нем строится связный подграф  $G_{st} = (I_{st}, J_{st})$  (рис. 3).

Вершины графа  $i \in I$  соответствуют узлам коммутации (УК) сети, в качестве которых выступают маршрутизаторы ИТС. Любая пара узлов сети может обмениваться информацией. Считаем, что топология сети не изменяется и входные потоки стационарны.

Не теряя общности будем полагать, что оконечные мультимедийные системы (end multimedia system, EMS) в сессии порождают двухкомпонентный информационный поток: речевой трафик класса  $B$  и трафик данных класса  $C$  (в терминах АТМ Forum). Для каждой пары  $st \in S^k$  в связном подграфе  $G_{st} = (I_{st}, J_{st})$  определено  $M_{st}^k$  статических путей для переноса информационных потоковых компонент  $k$ -го класса. Будем допускать, что в сети используется статическая альтернативная стратегия маршрутизации и в связном подграфе  $G_{st} = (I_{st}, J_{st})$  определено  $R_{st}^k = \{ \tilde{l}_{st,m}^k, m = \overline{1, M_{st}^k} \}$  фиксированных путей для каждой пары УК из множества  $st \in S^k$  мощности  $r_{st}^k = |S^k|$ , каждый из которых выбирается с заданной глобальной вероятностью  $p_{st,m}^k$ . Другими словами распределение мультимедийных вызывных сообщений по дереву  $R_{st}^k$  при установлении мультимедийного соединения задается системой  $p_{st,m}^k$  — глобальных вероятностей выбора  $m$ -го пути  $\tilde{l}_{st,m}^k = \{ si_1, i_1i_2, \dots, i_{\pi-1}t \}_{st,m}^k$  длины  $\pi^k$  для пары  $st \in S^k$  ( $\sum_{m=1}^{M_{st}^k} p_{st,m}^k = 1$  для  $\forall st \in S^k$ ). В общем слу-

чае  $\bigcap_{m=1}^{M_{st}^k} I_{st,m}^k \neq \emptyset$ . Путь  $m$ -го выбора  $\tilde{l}_{st,m}^k$  на подграфе  $G_{st} = (I_{st}, J_{st})$  образуют множество ребер  $I_{st,m}^k = \{ ij \in J : ij \in \tilde{l}_{st,m}^k \}$ . Алгоритмы поиска  $R_{st}^k$  могут быть взяты, например, из [12]. Корневое дерево путей лежит в основе построения последовательно-параллельной схемы путей, моделирующих маршруты передачи информационных потоков  $k$ -го класса в мультимедийной сессии (рис. 2).

Трафик  $k$ -го класса в рамках предоставления единой транспортной услуги может быть распределен в сессии по нескольким путям (необязательно совпадающим) в фиксированных во времени определенных пропорциях. Потоки мультимедийных вызовов интенсивности  $\lambda_{st}^{multy}$  (вызовов/час) создают в сети нагрузку  $a_{st}^{multy} = a_{st}^B + a_{st}^C$  (Эрл) от источника  $s$  в направлении получателя  $t$ . При этом допускается, что мультимедийный вызов в этом направлении может быть потерян с вероятностью, не превышающей нормированное значение  $b_{st}^{multy}$ . При этом блокированные мультимедийные вызовы могут распределяться по альтернативным путям 2-го, 3-го и т. д. выбора. Маршруты передачи независимы для каждого типа трафика. Будем полагать, что  $k$ -я потоковая компонента в рамках предоставления единой транспортной услуги функционирует независимо друг от друга, но ограничена длительностью мультимедийной сессии. Нагрузка между каждой парой  $st \in S^k$  может быть распределена по нескольким путям в определенных пропорциях, фиксированных во времени.

Состав показателей качества обслуживания QoS, ограничения на значения которых должны учитываться в процессе создания ИКС, подробно рассмотрены в [5,7]. При создании МСС должны, в первую очередь, выполняться ограничения на значения показателей качества обслуживания мультимедийных вызовов на фазе установления соединения, а именно, вероятность потери вызовов

$$b^{multy} = b(y^{multy}), \quad (1)$$

нормативные (допустимые) значения которых определены соответствующими рекомендациями ИТУ. Здесь  $y^{multy}$  (выз/с) — интенсивность поступления мультимедийных вызовов. Создание методики расчета потерь в МСС — задача



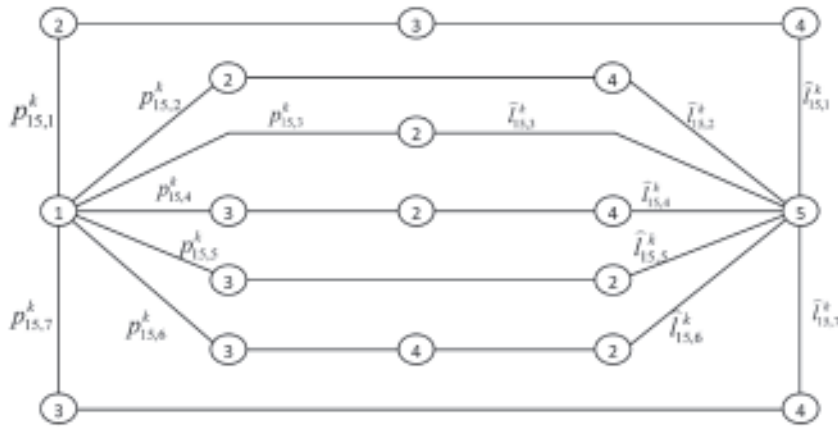


Рис. 2. Пример организации параллельно-последовательных схем  $L_{15}^k$  на связном подграфе  $G_{15} = G(I_{15}, J_{15})$

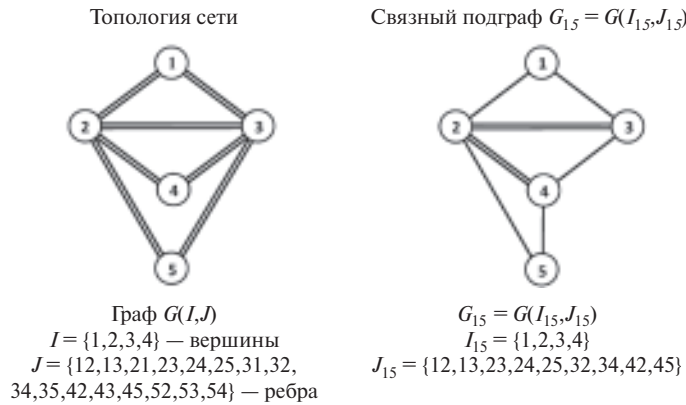


Рис. 3. Пример построения связного подграфа  $G_{15} = G(I_{15}, J_{15})$  на графе  $G(5, 16)$

теории телетрафика будущего. Отметим, что этот параметр в существующих моделях сетей указанного класса или ее элементов, как правило, не учитывается. Для борьбы с блокировкой потоков в сеансе связи в сети должна быть реализованы функции «политики управления нагрузкой» (policing), а также организовано управление очередями в буферах сетевого оборудования.

В роли ограничений на значения показателей качества обслуживания изохронного трафика класса  $B$  (в терминах АТМ Forum) в сессии в существующих моделях сетей с интеграцией служб выступают либо средняя величина сетевой задержки пакета изохронного трафика  $T^B$ , либо вероятность  $P_r \{ t \leq \theta_{st}^B \}$  доставки пакета указанного класса в сквозном тракте передачи  $st \in S^B$  за время, не превышающее заданное  $\theta_{st}^B$ . В па-

кетных ИТС предлагается применять «квантильный» подход, т. е. вводить ограничение на заданную вероятность  $d^B$  этого превышения, которая гарантирует необходимую изохронность передачи [5.7]

$$P_r \{ t \geq \theta_{st}^B \} = \int_{\theta_{st}^B - T_{pac}^B}^{\infty} f_{st,m}^B(t) dt \leq d^B. \quad (2)$$

Вероятность  $d^B$  эквивалентна вероятности блокировки ресурса в пакетной сети, моделируемой СеМО типа  $M / M / 1 / \infty$  с неограниченным накопителем в сеансе связи. Здесь  $f_{st,m}^B(t)$  — плотность распределения вероятности случайной задержки времени пребывания пакетов изохронного трафика класса  $B$  в составном маршруте  $\bar{l}_{st,m}^B$  тракта  $st \in S^B$ . В физическом смысле веро-

ятность  $d^B$  есть доля пакетов класса  $B$ , превысивших время  $\theta_{st}^B$  и/или потерянных из-за ошибок в заголовке и переполнения буферов маршрутизаторов [5,7]. Другими словами, для качественного воспроизведения изохронного трафика при пакетной передаче важно не среднее время пребывания пакета в сети, а доля пакетов, не доставленных получателю за заданное время, т. е. при анализе необходима фиксация заданного квантиля распределения времени их пребывания в сети.

Для характеристики качества передачи асинхронного трафика, вводится ограничение на заданное среднее время пребывания пакета данных в составном маршруте  $I_{st,m}^C$  тракта  $st \in S^C - T_{st,m}^C = \int_0^{\infty} t \phi_{st,m}^C(t) dt \leq T^C$ , не превосходящее предельной величины  $T^C$ , где  $\phi_{st,m}^C(t)$  — плотность вероятности времени пребывания пакета данных в  $m$  — маршруте тракта  $st \in S^{Cp}$ . При более жестком нормировании качества переноса высокоскоростных потоков данных класса  $C$ , связанном с ограничением на долю потерянных и/или задержанных не по адресу пакетов данных, предложено также применять «квантильную» постановку:

$$P_r \left\{ t \geq T_{st}^C \right\} = \int_{\theta^B - T_{pac}^C}^{\infty} f_{st,m}^C(t) dt \leq d^C.$$

Здесь  $T_{pac}^B = \frac{L^B - H_{IP}}{\nu^B}$  и  $T_{pac}^C = \frac{L^C - H_{IP}}{\omega^C}$  — время накопления информационной части соответствующего пакета у абонента;  $H_{IP}$  — длина заголовка пакета, бит.

Качественный показатель для оценки межпоточной синхронизации передачи изохронного потока с более строгими требованиями к изохронности передачи (например, видеопоток) по сравнению с потоком с менее строгими требованиями (например, аудиопоток) будем оценивать коэффициентом межпоточного смещения

$$R_{skew} = \frac{d^{k1}}{d^{k2}} \leq const, \quad (3)$$

где  $d^{k1}$  и  $d^{k2}$  — заданный уровень изохронности передачи потоков  $k$  — го класса.

Выбранные качественные показатели адекватно отображают QoS-нормы переноса мультимедийного трафика в инфотелекоммуникационной транспортной системе при предоставлении инфокоммуникационной услуги связи.

Учитывая, что основным характеристическим показателем качества функционирования ИТС в сессии (характеристической мерой) является степень использования ее физических ресурсов мультимедийным трафиком, предложено в качестве основополагающего методологического средства оценки функционирования системы использовать ее функциональную эффективность. Показано, что целевое назначение инфотелекоммуникационной транспортной системы однозначно предопределяет вид ее функционального критерия эффективности (целевой функции)  $K^k$ , который строится в виде общей числовой характеристики использования ресурса пропускной способности системы трафиком различных классов в рамках мультимедийного соединения. Суммарная номинальная пропускная способность линейно-цифровых трактов системы, необходимая для поддержания мультимедийных соединений, дается аддитивной формой  $V_{ij}^{multimin} = \sum_k V_{ij}^{kmin} = \sum_k K_{ij}^k V_{ij}^{kmin}$ .

Указанный критерий фактически определяет требуемую долю ресурса пропускной способности  $V_{ij}$  линейно-цифровых трактов системы, необходимую для переноса мультимедийных информационных потоков заданной структуры и объемов с заявленным качеством обслуживания в сессии. Он имеет четкий физический смысл, чувствителен к основным варьируемым параметрам системы, а также обеспечивает возможность сравнения различных вариантов построения и выбора наиболее рационального варианта при заданных условиях проектирования.

### Обоснование критерия эффективности

В качестве основополагающего методологического средства оценки системы принята ее экономическая и/или функциональная «эффективность». Оценка эффективности сложных систем, к которым относятся ИТС, является сложной и не до конца решенной проблемой [8–10]. Общая классификация методов оценки эффективности функционирования телекоммуникационных сетей приведена в [11] (рис. 4). Наиболее важным требованием к критерию эффективности является способность критерия измерять эффективность рассматриваемой системы.

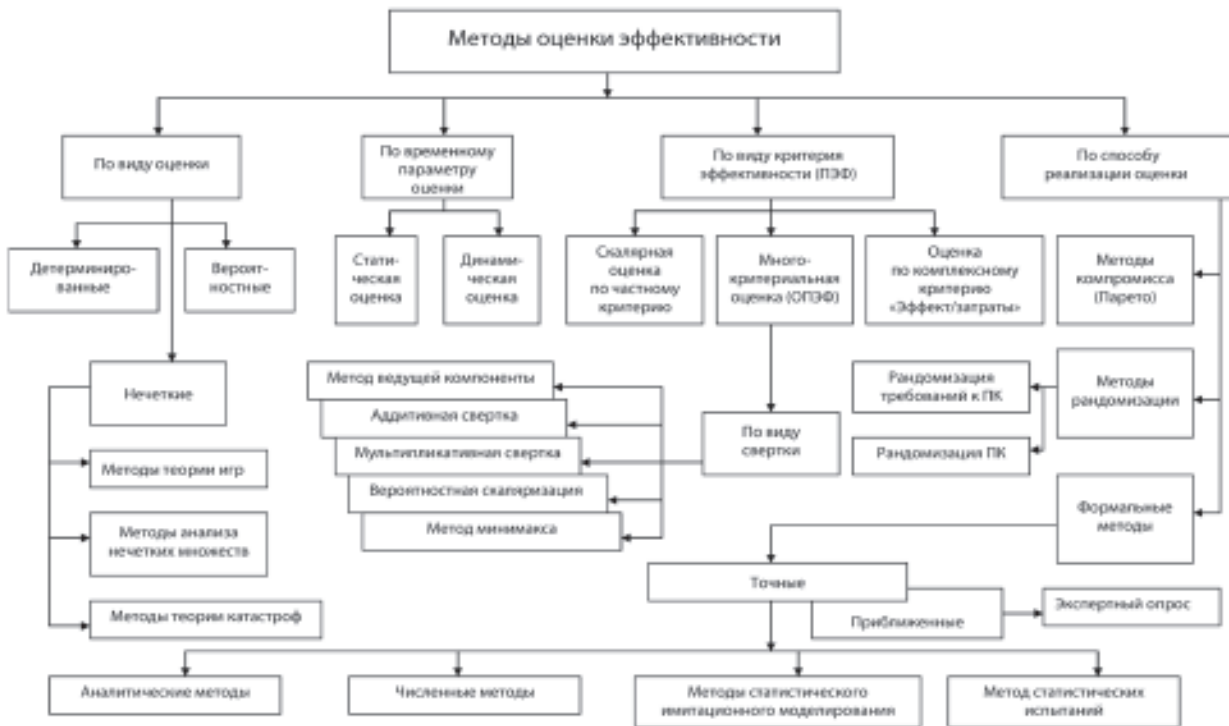


Рис. 4. Общая классификация методов оценки эффективности системы

В этой связи критерий эффективности должен отражать основное назначение системы исходя из цели ее проектирования. Другим, не менее важным, требованием к критерию является возможность его оценки в количественной, численной форме, исключающей неоднозначность толкования его значения. При этом критерий эффективности должен иметь четкий физический смысл и давать наглядное представление об исследуемом качестве системы. Третье по важности требование заключается в *чувствительности критерия* к основным варьируемым параметрам системы, что позволяет определить наиболее рациональные характеристики системы или ее составляющих. Четвертое требование — критерий *должен обеспечить сравнение различных вариантов построения системы* для выбора наиболее рационального. Последнее требование относится к полноте учитываемых критерием главных параметров системы или ее составляющих, определяющих назначение и качество работы системы. Кроме того, критерий *должен быть достаточно простым и удобным в инженерной практике расчета*. Эффективность системы, а следовательно, и ее критерий в общем случае зависят от трех групп факторов: характеристик многомерного входящего потока (интен-

сивности, длин сообщений и др.); особенностей функционирования системы; экономических показателей, характеризующих ее работу и др.

Целеполаганием ИТС является обеспечение требуемого качества услуги переноса мультимедийного трафика в сеансе связи с предоставлением для этого минимума сетевых ресурсов. Таким образом, целеполагание ИТС определяет две основные функции системы. Первая функция связана непосредственно с самой системой и является характеристикой качества функционирования системы (Network Performance, NP), т. е. характеризует ее эффективность. Как отмечалось выше, основным характеристическим показателем качества функционирования (характеристической мерой) ИТС является степень использования пропускной способности системы мультимедийным трафиком в режиме установленного соединения. Вторая функция связана с пользователем и является характеристикой качества его обслуживания QoS в сеансе связи или характеристикой качества процесса переноса мультимедийного трафика. Целеполагание ИТС однозначно предопределяет вид ее комплексного функционального критерия эффективности (целевой функции)  $K^k$  в виде общей числовой характеристики использования про-

пускной способности ЛЦТ системы  $V_{ij}$  мультимедийным трафиком с учетом ограничений на QoS-нормы его переноса [12,13]. Номинальная пропускная способность определяется суммой номинальных скоростей отдельных потоков в рамках мультимедийного соединения, обслуженного системой и дается аддитивной формой

$$V_{ij}^{\min} = \sum_k K_{ij}^k V_{ij} \quad (4)$$

$$\text{при } P_r \left\{ t \geq \theta_{st}^B \right\} \leq d^B,$$

$$R_{skew} = \frac{d^{k1}}{d^{k2}} \leq const,$$

$$T_{st}^C \leq T^C \left( P_r \left\{ t \geq T_{st}^C \right\} \leq d^C \right). \quad (5)$$

При этом значение номинальной полосы пропускания должно удовлетворять ограничениям допуска нового соединения, в качестве которых могут выступать ограничения на качественные показатели транспортировки разнородного трафика в сессии.

Критерий  $K^k$  как характеристическая мера является первичным критерием эффективности, в то время как вторичные критерии порождают ограничения на качественные показатели переноса мультимедийной информации. Необходимо отметить, что построение удобного в инженерной практике комплексного показателя эффективности, объединяющего в себе основные частные критерии, является нетривиальной задачей [9–11].

В качестве критерия эффективности ИТС предлагается использовать функциональный критерий, отражающий основное назначение сети: использование пропускной способности системы и время доставки разнородного трафика в сессии, в предположении удовлетворения требований к качеству его доставки, обоснованные выше. В основу методологической базы построения критерия предлагается использовать модель ее архитектуры [5, 7, 12, 13]. В рамках этой методологии эффективность использования сети в режиме установленного соединения оценивается с помощью набора уровневых функционалов (критериев) использования пропускной способности ее ТС смешанным трафиком различных классов  $K_{h,ij}^k$ , которые моделируют уровневое логическое соединение и определяют требуемую долю пропускной спо-

собности  $V_{ij}$  ЛЦТ для его передачи (индекс  $h$  соответствует соответствующему уровню архитектуры ТС, ниже транспортного). Указанные функционалы зависят не только от необходимой для их работы служебной информации соответствующих объемов, но и от протоколов функционирования отдельных уровней архитектуры ТС, поддерживающих соответствующие службы (в том числе и службы безопасности). В силу относительной независимости уровней архитектуры и вложенности протокольных блоков верхних уровней архитектуры ТС в информационное поле протокольных блоков нижележащих уровней функционалы  $K_{h,ij}^k$  обладают мультипликативным свойством, откуда общий функционал оценки эффективности использования пропускной способности ЛЦТ или локальный межузловой критерий эффективности ТС дается выра-

жением:  $K_{ij}^k = \prod_h K_{h,ij}^k$ , для всех транспортных

соединений  $K_{st}^k = \sum_{m=1}^{M_{st}^k} p_{st,m}^k K_{st,m}^k$ , а для всей

сети —  $K^k = q^k \sqrt{\sum_{st \in S^k} \frac{a_{st}^k}{Y^k} (K_{st}^k)^{q^k}}$ ,  $q^k = |S^k|$ . Здесь

$K_{st,m}^k$  — критерий оценки эффективности использования  $m$ -го маршрута сквозного тракта передачи  $st \in S^k$  из множества  $M_{st}^{k_p}$  трафиком  $k$ -го класса,  $p_{st,m}^k$  — глобальная вероятность ввода пакета в  $m$ -й путь, выбранный на фазе установления соединения из множества  $M_{st}^{k_p}$  ( $\sum_{m=1}^{M_{st}^k} p_{st,m}^k = 1$ , для  $\forall st \in S^k$ ),  $a_{st}^k$  — доля входяще-

го потока в общем сетевом потоке  $Y^k = \sum_{st \in S^k} a_{st}^k$ ,

$K_{st,m}^k = K_{T-layer}^k r_{st,m} \sqrt{\prod_{ij \in I_{st,m}^k} K_{ij}^k}$ . Функционал по-

добного типа обладает свойством  $\lim_{q \rightarrow \infty} K^k =$

$= \max_{st \in S^k} K_{st}^k$ , что не дает явного преимущества

транспортным соединениям с большими весовыми коэффициентами. Выбранный критерий эффективности имеет четкий физический смысл, чувствителен к основным варьируемым параметрам систем, что позволяет определить наиболее рациональные их характеристики, а также обе-

спечивает сравнение различных вариантов построения для выбора наиболее рационального при заданных условиях проектирования.

**Параметрический синтез  
пакетной инфотелекоммуникационной  
транспортной системы**

Проектирование МСС и, в частности, ее ИТС является сложным итерационным процессом и в первую очередь включает в себя задачу анализа: определение по входным характеристикам сети (типу, величине и интенсивности входной нагрузки) и ее параметрам (топологии, пропускной способности, показателей надежности, системе маршрутизации) ее выходных характеристик (допустимых нагрузок по различным направлениям связи, ВВХ и т. п. Цель анализа — исследование устойчивости интегральных показателей к внешним и внутренним параметрам сети, выявление «узких» мест и выработка предложений по их устранению. При этом анализ сети осуществляется при поисках оптимальной топологии сети, синтезе пропускной способности межузловых линейно-цифровых трактов (ЛЦТ) передачи, поиске оптимального плана распределения потоков и др. Разработчик вначале рассматривает макроструктуру сети, оценивает ее параметры и рассчитывает характеристики ее элементов. После этого следует уточнение решений. По своей сути задача анализа носит поисковый характер и решается на каждом шаге итерационного процесса направленным комбинированием входных параметров сети с одновременным анализом выходных характеристик. При этом используется, как правило, одномерный критерий оптимизации и целый ряд допущений [8–10]. Для МСС задача анализа сохраняет содержание и важность, но приобретает некоторые особенности [5, 7, 12].

Математически сформулированную в общем виде задачу анализа ИТС можно формализовать в следующем образом: найти такой вектор параметров  $\vec{x}_n^{k\ onm}$ , что

$$\vec{x}_n^{k\ onm} = \arg \text{extr}_{\vec{x}_n^k \in X_{\text{don}}^k} K^k(\vec{x}_n^k) \quad (6)$$

при  $\vec{z}^k(\vec{x}_n^k) \in Z_{\text{don}}$ . Здесь  $\vec{x}_n^k = (\vec{x}_n^{TC}, \vec{x}_n^{ПИБ})$ , где  $\vec{x}_n^{TC}$ ,  $\vec{x}_n^{ПИБ}$  — векторы параметров транспортной системы и подсистемы безопасности соответственно;  $X_{\text{don}}^k$  — множество допустимых значений параметров, включая параметры защиты.

$K^k(\vec{x}_n^k)$  — критерий эффективности системы, экстремум которого необходимо обеспечить выбором соответствующего вектора параметров;  $\vec{z}_m^k(\vec{x}_n^k)$  — вектор показателей качества системы с учетом механизмов защиты;  $Z_{\text{don}}^k$  — множество допустимых значений показателей качества с учетом механизмов защиты. Результатами решения задачи анализа являются оптимальные длины речевых пакетов и пакетов данных, а также максимально допустимые загрузки межузловых ЛЦТ передачи многокомпонентными информационными потоками.

Задача анализа ИТС в терминах целевых функций формулируется следующим образом. Необходимо оценить: может ли мультимедийный трафик различной природы заданной структуры и объема  $Y^{multy}$ , пропущенный на фазе установления соединения, быть обслужен системой при условии соблюдения ограничений на QoS-нормы переноса в рамках единой транспортной услуги. Другими словами, при заданных  $G, R_{st}^k, P_{st,m}^k, V_{ij}, P_{ij}^{ou}$  необходимо определить возможность передачи потока  $Y^{multy} = \sum_k Y^k$

с характеристиками обслуживания при ограничениях  $b_{st}, \theta_{st}^B, d_{st}^B, T_{st}^C (d_{st}^C)$ . При этом если такой перенос возможен, то необходимо определить предельные его значения, а в случае невозможности переноса — максимально допустимые значения, при которых еще возможно заданное качество обслуживания. Содержание задачи анализа можно конкретизировать как задачу выбора оптимальных значений параметров системы в смысле заданного критерия ее эффективности. Таким образом, задачу анализа ИТС в терминах целевых функций можно записать в виде последовательности двух задач оптимизации:

1. Найти

$$\begin{aligned} \arg \max K^B = \\ = \arg \max_{r^B} \sqrt{\sum_{st \in S^k} \frac{\hat{a}_{st}^B}{Y^{multy}} (K_{st}^B)^{r^B}}, \\ r^B = |S^B|, \end{aligned} \quad (7)$$

при условиях

$$\Pr(t \geq \theta_{st}^B) \leq d^B \quad \forall st \in S^B : a_{st}^B \neq 0,$$



$$b_{st} \leq b^{multy}, \quad (8)$$

где  $\Pr(t \geq \theta_{st}^B)$  — заданная вероятность  $d^B$  превышения речевым  $B$ -пакетом времени пребывания  $\theta_{st}^B$  в тракте  $st \in S^B$ ;  $b_{st}$  — вероятность блокировки мультимедийного вызова в направлении  $st \in S^k$  при организации инфокоммуникационной услуги;

2. Найти

$$\begin{aligned} & \arg \max K^C = \\ & = \arg \max r^{BC} \sqrt{\sum_{st \in S^C} \frac{\tilde{a}_{st}^C}{Y^{multy}} (K_{st}^C)^{r^C}}, \quad r^C = |S^C|, \quad (9) \end{aligned}$$

при условиях

$$T_{st}^C \leq T^C \quad \forall st \in S^C : a_{st}^C \neq 0$$

или

$$\Pr(t \geq T_{st}^C) \leq d^C \quad \forall st \in S^C : a_{st}^C \neq 0;$$

$$b_{st} \leq b^{multy} \quad (10)$$

и все параметры первой задачи найдены и фиксированы.

### Структурный синтез пакетной инфотелекоммуникационной IP-QoS-системы

Результаты решения задач оптимального параметрического анализа ИТС, лежат в основе задач выбора их пропускной способности или синтеза сети, который предусматривает выбор оптимальной альтернативы из заданного множества при фиксированном для каждой альтернативы векторе параметров (оптимальная в смысле заданного критерия варианта построения системы, реализующего конкретный набор функций в заданном базисе элементов и обеспечивающего требуемые характеристики системы) [8–10]. Задача выбора пропускной способности ИТС, реализованной на технологии IP-QoS, формулируется следующим образом. По заданным величинам многокомпонентных потоков с учетом ограничений на качество обслуживания и известной системе маршрутов их транспортировки необходимо определить минимальную пропускную способность  $V_{ij}^{\min}$  межузловых трактов сети. Указанная задача может быть формализована в виде двух задач оптимизации

Найти

$$\arg \min_{V^B \in V_{don}} K^B, \quad (11)$$

при условии

$$\Pr(t \geq \theta_{st}^B) \leq d^B \quad \forall st \in S^B : a_{st}^B \neq 0,$$

$$b_{st} \leq b^{multy} \quad (12)$$

2. Найти

$$\arg \min_{V^C \in V_{don}} K^C, \quad (13)$$

при условии

$$T_{st}^C \leq T^C \quad \forall st \in S^C : a_{st}^C \neq 0$$

или

$$\Pr(t \geq T_{st}^C) \leq d^C \quad \forall st \in S^C : a_{st}^C \neq 0;$$

$$b_{st} \leq b^{multy} \quad (14)$$

и все параметры первой задачи найдены и фиксированы.

Метод структурного синтеза пакетных ИТС в режиме установленного соединения базируются на поэтапной минимизации значения  $V_{ij}$  ресурса пропускных способностей ЛЦТ системы, при условии максимальной загрузки тракта речевым трафиком класса  $B$ . Затем рассчитывается максимальная допустимая загрузка трактов сети асинхронным трафиком данных класса  $C$  при условии, что все параметры первой задачи найдены и фиксированы. Таким образом, процедура принятия оптимального решения в соответствии с формализацией задачи оптимального проектирования ИТС сводится к решению задач оптимального синтеза. Для их решения, как правило, используются численные и/или имитационные модели системы. В нашем случае проектировщиков, в конечном счете, интересует минимальный ресурс пропускной способности ЛЦТ (минимальная скорость трактов передачи из дискретного множества первичных каналов связи) ИТС, обеспечивающей многополюсный перенос многокомпонентных входных потоков заданных объемов с требуемыми QoS-нормами на качество обслуживания. По сути эта задача тяготеет к задаче выбора пропускных способностей (ВПС) классических пакетных сетей, но в двойственной постановке [8–10]. Отыскивая минимальные скорости трак-

тов, мы фактически минимизируется их суммарная стоимость при ограничениях на качество передачи. Однако здесь задача усложняется наличием, по крайней мере, двух типов трафика, конкурирующих за сетевые ресурсы. Выбор оптимального варианта построения системы основан на оценке значений характеристик и критерия эффективности для всех рассматриваемых вариантов. Выполнение такой оценки для заданного варианта построения системы на каждом шаге итерационного процесса осуществляется с помощью процедуры оптимального параметрического анализа. При этом выбор оптимального вектора параметров для заданной альтернативы построения ИТС базируется на результатах решения задачи распределения смешанных потоков (РСП) [8–10]. Таким образом, процедура синтеза обязательно включает в себя процедуру анализа ИТС. Итерационный процесс выбора оптимальной альтернативы может давать различные результаты, которые зависят в какой-то степени от опыта проектировщика, не говоря уже о его субъективных представлениях.

Решение задач (11) и (13) связано с определенными математическими и вычислительными трудностями и требует разработки соответствующих методов. Сущность методики состоит в том, что сначала отыскиваются минимальные значения  $V_{ij}$  пропускных способностей межзловых трактов, при условии максимальной загрузки тракта речевым трафиком с учетом требований на качество его обслуживания при предоставлении инфокоммуникационной услуги. Затем для найденных значений  $L_{opt}^B$ ,  $\rho_{ij}^{Bmax}$  (оптимального коэффициента загрузки ЛЦТ) и  $V_{ij}$  рассчитывается максимальная допустимая загрузка трактов сети  $\rho_{ij}^{Cmax}$  трафиком данных класса  $C$  с учетом ограничений на качество его транспортировки при условии, что все параметры первой задачи найдены и фиксированы. Если эти величины меньше чем заданные, производится наращивание значений  $V_{ij}$  до тех пор, пока текущее значение  $\rho_{ij}^B = \rho_{ij}^{Bmax}$ . Особенность рассматриваемой задачи в том, что на каждом шаге происходит пересчет оптимальных длин речевых пакетов  $L_{opt}^B$  и это приводит к периодическому смещению (релаксации) значения оптимума. Полученные значения минимально необходимой скорости  $V_{ij}^{min}$  работы ЛЦТ для

заданных величин входных трафиков  $Y^B$  и  $Y^C$ , легко пересчитываемые в стоимость аренды каналов первичной сети, могут служить хорошим критерием для сравнения различных вариантов ИТС и выбора среди них наилучшего (самого дешевого).

Вычисленные значения  $V_{ij}$  ресурса пропускных способностей трактов, позволяют минимизировать суммарную стоимость ресурса пропускной способности сети при ограничениях на качество передачи разнородного трафика. Эксплуатационные расходы в основном связаны с арендой каналов первичной сети связи. Оценить стоимость аренды для различных вариантов ИТС можно по формуле

$$C = \sum_{ij} c(l) \left[ \frac{V_{ij}^{min}(a_{ij}^B, V_{ij}^C)}{V_{ij}} \right],$$

где  $V_{ij}^{min}(a_{ij}^B, V_{ij}^C)$  — величина минимальной скорости передачи межзлового тракта, необходимая для обслуживания трафика класса  $B$  —  $a_{ij}^B$  (Эрл) и трафика класса  $C$  —  $V_{ij}^C$  (бит/с);  $V_{ij}$  (бит/с) — скорость работы каналаобразующей аппаратуры в ЛЦТ;  $c(l)$  (руб) — стоимость аренды одного канала первичной сети длины  $l$  (км);  $\lceil \cdot \rceil$  — знак ближайшего большего целого.

### Выводы

1. Качество функционирования МСС в режиме установленного соединения предлагается оценивать следующими показателями: для пакетов изохронного трафика фиксируется заданный квантиль  $d^B$  распределения времени их пребывания в тракте передачи, который гарантирует заданную изохронность передачи  $P_r \{ t \geq \theta_{st}^B \} \leq d^B$ . Эта вероятность эквивалентна более общей вероятности блокировки ресурса при установлении виртуального мультимедийного соединения. Для пакетов асинхронного трафика фиксируется заданное среднее время пребывания в сети, не превосходящее предельной величины  $T_{st}^C \leq T_{max}^C$  или квантилем  $P_r \{ t \geq T_{st}^C \} \leq d^C$ . Выбранные ограничения на качество передачи трафика различной природы адекватно отображают QoS-нормы его передачи в сессии. Для оценки требуемого ресурса пропускной способности для транспортировки разнородных по-

токов информации с заданными QoS-нормами в межузловом тракте передачи ЛЦТ вводится показатель минимальной эффективной пропускной способности  $V_{ij}^k$ .

2. Функциональный критерий эффективности МСС предлагается строить в виде общего сетевого функционала использования ресурса пропускной способности ее ИТС трафиком различных классов в режиме установленного соединения с учетом приоритетного обслуживания изохронного трафика (речь, видео) по отношению к асинхронному (интерактивные данные, файлы). Общие сетевые функционалы для каждого класса трафика представлены мультипликативной формой на базе уровневых функционалов модели архитектуры ИТС, которые должны строиться с учетом протоколов отдельных уровней и необходимой для их работы служебной информации соответствующих объемов применительно к каждой паре «источник-получатель».

3. В качестве методологической базы построения критерия эффективности транспортной системы МСС должна быть использована модель ее архитектуры. Выбранный функциональный критерий эффективности фактически определяют требуемую долю ресурса пропускной способности сети для передачи любого класса трафика с заявленным качеством, отображает основное назначение системы, исходя из цели проектирования, и позволяет произвести его оценку в количественной и численной форме. При этом

он имеет четкий физический смысл, чувствителен к основным варьируемым параметрам сети, что позволяет определить наиболее рациональные характеристики систем, а также обеспечивает сравнение различных вариантов их построения для выбора наиболее оптимального при заданных условиях проектирования.

4. Методы параметрического синтеза пакетных МСС в режиме установленного соединения должны базироваться на поэтапной маргинальной оптимизации функциональных критериев эффективности (целевых функций) ИТС с учетом их условной зависимости при ограничениях на величину заданного квантиля распределения сквозного времени передачи пакетов изохронного трафика и заданное среднее время передачи пакетов асинхронного трафика в сети. В качестве оптимизируемых параметров при решении однокритериальных оптимизационных задач анализа ИТС предлагается использовать длины соответствующих протокольных блоков  $L_{opt}^k$  разнородного трафика.

5. Методы структурного синтеза пакетных МСС в режиме установленного соединения базируются на поэтапной минимизации значения  $V_{ij}$  ресурса пропускных способностей трактов передачи системы, при условии максимальной загрузки тракта изохронным трафиком, и последующим вычислением максимально допустимой загрузки трактов сети асинхронным трафиком при условии, что все параметры первой задачи найдены и фиксированы.

## ЛИТЕРАТУРА

1. ITU-T Recommendation Y. 110. Global Information Infrastructure principles and framework architecture, 1998.
2. Концептуальные положения по построению мультисервисных сетей на ВСС России. — Документ Министерства РФ по связи и информатизации, 2001 г.
3. **А.В. Росляков, С.В. Ваняшин, М.Ю. Самсонов, И.В. Шибяева, И.А. Чечнева.** Сети следующего поколения NGN / под ред. А.В. Рослякова. — М.: Экотрендз, 2008. — 424 с.: ил.
4. **Б. С. Гольдштейн.** Сети связи пост-NGN / Б. С. Гольдштейн, А. Е. Кучерявый. — СПб.: БХВ-Петербург, 2014. — 160 с.: ил.
5. **Мошак Н.Н.** Теория проектирования транспортной системы инфокоммуникационной сети: учеб. пособие для вузов. СПб.: Энергомашиностроение. 2006. 159 с.
6. **Мошак Н.Н.** Метод расчета характеристик транспортной системы инфокоммуникационной сети на технологии IP-QoS // Электросвязь. 2006. № 3. С. 44—47.
7. **Н. Н. Мошак.** Защищенные инфотелекоммуникации. Анализ и синтез: монография / СПб.: ГУАП, 2014. 193 с.: ил. ISBN 978—5—8088—0920—8
8. **Г.П. Захаров, Г.Г. Яновский.** Широкополосные цифровые сети интегрального обслуживания. Учебное пособие // СПбГУТ. — СПб, 1994, 64 с.
9. **В.В. Лохмотко, Пирогов К.И.** Анализ и оптимизация цифровых сетей для интегрального обслуживания. — Мн.: Навука і тэхніка, 1991. — 192 с.
10. **Советов Б.Я., Яковлев С.А.** Построение сетей интегрального обслуживания. — Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1990. — 332 с.: ил.
11. **Пращук И.Б.** Сравнительный анализ методов оценки эффективности функционирования телеком-

муникационных сетей / И.Б. Прашук. // International Informatization Forum V, International Conference on Informational Networks and Systems «ICINAS-98». SPb, 1998. с. 291–299.

12. **Давыдова Е.В.** Построение и формализация уровневых и комплексных критериев эффективности мультисервисной сети связи // Сборник научных

статей III-й Международной научно-технической и научно-методической конференции «Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании». СПб.: СПбГУТ. 2014. С.450–454.

13. **Реклейс Г., Рейвиндран А., К. Рэгдел.** Оптимизация в технике: в 2-х кн., кн. 1., пер. с англ. М.: Мир. 1968. 352 с.: ил.



*В.С. Авраменко*

профессор, кандидат технических наук

*А.В. Маликов*

*А.В. Селезнев*

Военная академия связи имени Маршала Советского Союза С.М. Будённого

## **ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СОБЫТИЯМИ И ИНЦИДЕНТАМИ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

**АННОТАЦИЯ.** Рассматриваются проблемы управления событиями и инцидентами информационной безопасности в автоматизированных системах специального назначения. Проведен анализ известных систем управления событиями и инцидентами информационной безопасности. Определены пути решения проблем управления событиями и инцидентами информационной безопасности в автоматизированных системах специального назначения.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** автоматизированные системы специального назначения, средства защиты информации, инциденты информационной безопасности, управление.

Эффективность защиты информационных ресурсов в автоматизированных системах (АС) специального назначения (СН) на современном этапе их развития во многом зависит от степени реализации комплексного подхода к предупреждению и выявлению нарушений безопасности информации, предполагающего совместное применение множества различных средств ЗИ. В настоящее время в АС СН применяются различные средства защиты информации от угроз несанкционированного доступа и компьютерных атак: средства разграничения доступа, криптографические средства, средства обеспечения целостности информации, средства антивирусной защиты, системы обнаружения вторжений, системы предотвращения вторжений, межсетевые экраны, средства анализа защищенности и другие. При таком многообразии средств защиты возникает ряд проблемных задач, связанных с управлением событиями и инцидентами информационной безопасности. В первую очередь в АС СН требуют решения следующие проблемы:

сбор разнородных и разноформатных данных о функционировании средств защиты информации и средств автоматизации;

оперативный анализ полученных данных с целью обнаружения событий или инцидентов информационной безопасности (ИБ);

выработка решения на оперативное реагирование на выявленные инциденты информационной безопасности.

Специфика данных проблем в АС СН обусловлена повышенными требованиями к оперативности управления защитой и значительной величиной возможного ущерба (в некоторых случаях не поддающегося оценке в денежном эквиваленте) в результате реализации угроз безопасности информации. Особенно актуальны эти проблемы в условиях информационного противоборства, когда требуется в близком к реальному масштабу времени обнаруживать, анализировать и нейтрализовать массовые разнородные ранее неизвестные компьютерные инциденты. Данные проблемы могут быть решены путем внедрения в АС СН SIEM (Security Information and

Event Management) системы — системы управления событиями и инцидентами информационной безопасности, разработанной в середине прошлого десятилетия на базе двух технологий: SIM (Security Information Management), обеспечивающей сбор, хранение и анализ данных из журналов событий, подготовку отчетов по соответствию нормативным требованиям, и SEM (Security Event Management), обеспечивающей в реальном времени мониторинг событий безопасности, выявление и реагирование на инциденты безопасности.

SIEM-система решает ряд следующих задач:

1) Сбор, хранение и обобщение информации из журналов событий IDS, операционных систем, сетевых устройств, средств антивирусной защиты.

2) Нормализация полученных данных для последующего анализа событий и инцидентов ИБ. Под нормализацией понимается представление всех полученных разноформатных данных от имеющихся средств ЗИ к единообразному виду.

3) Корреляция полученных событий по определенному набору правил для выявления взаимосвязи между ними. В простейшем случае в SIEM правила представлены в формате RBR (Rule Based Reasoning) и содержат набор условий, триггеры, счетчики, сценарий действий.

4) Хранение нормализованных данных для их последующего использования как в последующих процедурах корреляции, так и в отчетах о работе системы.

5) Визуализация результатов выполнения всех вышеописанных процедур и выдача отчета.

Основная задача SIEM-системы — не просто собрать события, а в автоматизированном режиме обнаруживать инциденты с документированием в собственном журнале или внешней системе, а также своевременно информировать о событии. Место SIEM-системы в автоматизированной системе приведено на рис. 1.

Сбором информации занимаются сенсоры, установленные в каждом сегменте сети. Полученные log-файлы заносятся в хранилище журналов. Таким образом, данные о событиях информационной безопасности используются не только в ближайшей, но и в долгосрочной перспективе при создании моделей поведения системы. В центре управления SIEM-систем осуществляется корреляция событий и визуализация состояния автоматизированной системы относительно событий и инцидентов информационной безопасности. Структура SIEM-системы представлена на рис.2.

На российском рынке представлены следующие основные SIEM-системы: HP ArcSight, IBM



Рис. 1. Место SIEM-системы в автоматизированной системе.

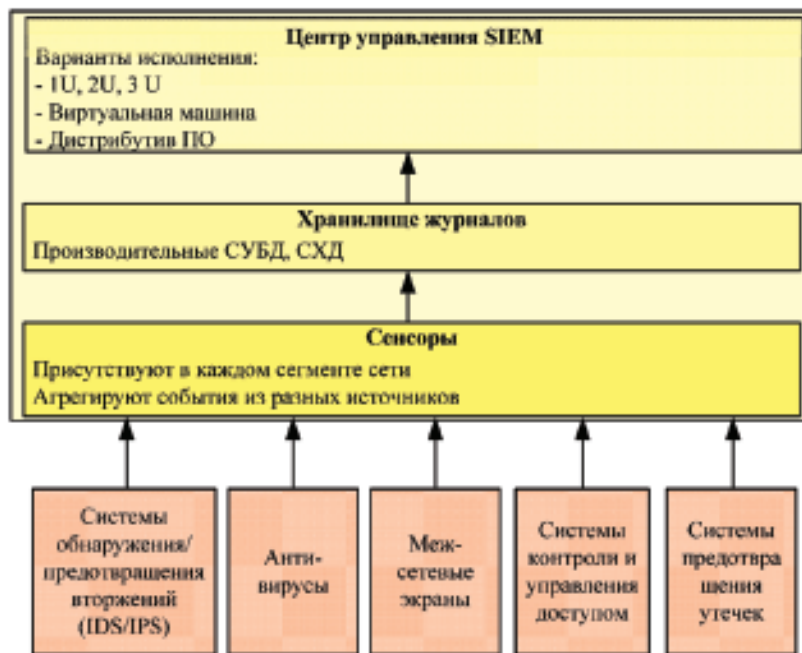


Рис. 2. Структурная схема типовой SIEM-системы

Q1 Radar, Symantec, RSA Envision, McAfee Nitro, Tibco Loglogic, Splunk и ряд других.

Выделяют следующие основные характеристики, по которым сравнивают SIEM-системы [1, 2]:

1. Управление журналами.
2. Отчеты о соответствии.
3. Работа механизма SEM, осуществление корреляции.
4. Мониторинг пользователей.
5. Мониторинг приложений.

6. Простота развертывания и поддержки.

По данным характеристикам аналитиками компании Gartner, для основных SIEM-решений были выставлены следующие оценки по 5-ти бальной шкале (табл. №1).

По мнению аналитиков компании Gartner по сумме оценок лидирующее положение занимает система ArcSight/ ESM&Logger, единственным явным недостатком данной системы является сложность развертывания и сопровождения.

Таблица 1

Оценки SIEM-решений по основным показателям

SIEM-системы/Характеристики	ArcSight/ ESM & Logger	Q1 Labs/ Qradar	Syman-tec/ SSIM	RSA (EMC)/ EnVision	SenSage/ Solutions
Управление журналами	4,5	3,9	3,6	3,6	4,0
Отчеты о соответствии	4,0	3,8	2,8	4,4	4,5
SEM	4,9	4,1	3,8	2,7	2,1
Мониторинг пользователей	4,6	3,5	2,7	3,5	4,0
Мониторинг приложений	4,8	3,3	3,4	3,3	4,3
Простота развертывания и сопровождения	2,8	4,3	3,5	4,5	2,5

Помимо вышеперечисленных платных и достаточно дорогих SIEM-решений существуют и бесплатные системы. Примером таких SIEM решений является OSSIM — Open Source SIEM.

Из отечественных разработок в первую очередь необходимо отметить разработанную в НПО «Эшелон» SIEM-систему «КОМРАД» — комплекс оперативного мониторинга, реагирования и анализа данных. По имеющимся сведениям комплекс может быть использован для защиты информации в автоматизированных системах военного назначения, обрабатывающих данные ограниченного доступа [3].

«КОМРАД» решает следующие основные задачи:

- централизованный сбор и анализ данных журналов событий средств ЗИ, автоматизированных рабочих мест (АРМ), серверов и сетевого оборудования;

- удаленный контроль параметров конфигурации и работы АРМ с помощью инсталлированного программного агента;

- оперативное оповещение и реагирование на внутренние и внешние угрозы безопасности АС;

- контроль выполнения заданных требований по безопасности информации, сбор статистики и построение отчетов по защищенности АС в любые моменты времени.

При этом производитель указывает на ряд возможных проблем при внедрении SIEM-системы:

- система может оказаться слишком сложной в эксплуатации (необходимо интегрировать с источниками данных, создавать самостоятельно правила функционирования);

- отсутствуют штатные процедуры реагирования на инциденты.

Еще одна отечественная SIEM-система — «SecurityCapsule» (разработчик и производитель системы — ООО «Инновационные технологии в бизнесе») по своим возможностям близка к «КОМРАД».

В настоящее время само понятие SIEM стало гораздо шире. Сейчас от SIEM-решений требуются новые функции и механизмы, способные более быстро и точно выявлять и предотвращать инциденты ИБ. В частности, SIEM решения нового поколения способны не только осуществлять сбор и анализ событий из регистрационных журналов (log-файлов), но и коррелировать их с сетевым трафиком на основе протоколов

учета трафика (NetFlow, sFlow и др.), по сути, выполняя функции «глубокого анализа пакетов» (Deep Packet Inspection, DPI). Таким образом, к функциям SIEM-решения нового поколения добавляются сетевая безопасность и управление большими объемами данных.

По сути, SIEM-решения нового поколения становятся «интеллектуальной платформой обеспечения информационной безопасности» (Security Intelligence Platform).

Примером SIEM-решения нового поколения является RSA Security Analytics, которая сочетает в себе функции SIEM-системы RSA eNVision и технологии сбора и анализа сетевого трафика NetWitness [4].

Стремительное развитие SIEM-систем и успешный опыт их внедрения во многих критических инфокоммуникационных системах указывает на целесообразность внедрения в автоматизированные системы специального назначения с целью решения проблем управления инцидентами и событиями информационной безопасности. По сведениям из открытых источников [5], в комплекс PRISM Агентства национальной безопасности США данные поступают и от различных внешних SIEM-систем. Этот факт подчеркивает целесообразность внедрения систем управления событиями и инцидентами ИБ в АС СН для обеспечения требуемых показателей защищенности информации в условиях информационного противоборства.

Разработанные иностранными компаниями SIEM-решения в АС СН напрямую не применимы, так как, во-первых, не учитывают специфики отечественных АС СН (сложная нестандартная организационно-техническая структура, разнородные средства автоматизации и защиты информации, протоколы обмена данными и др.), во-вторых — программный код большинства SIEM-систем закрыт (может иметь недекларированные возможности), в-третьих — возможности существующих SIEM-систем по автоматизированному анализу инцидентов безопасности не в полной мере соответствуют современным требованиям по защите информации, предъявляемым к АС СН, в частности, требованиям по оперативности анализа (диагностирования) нарушений безопасности и полноте диагностической информации, оперативности и адекватности реагирования.

Отечественный продукт «КОМРАД» может быть применен в АС СН, его внедрение позволит

существенно повысить эффективность управления событиями и инцидентами информационной безопасности, но, судя по публикациям, по возможностям он уже несколько уступает современным зарубежным разработкам, сложен в настройке.

Перспективным путем решения проблемы управления событиями и инцидентами информационной безопасности в АС СН является не адаптация известных решений к специфике АС СН (что, так или иначе, ведет к отставанию), а разработка опережающей комплексной технологии максимально автоматизированного сбора и обработки первичной информации, обнаружения событий и инцидентов информа-

ционной безопасности, анализа (диагностирования) нарушений безопасности, адекватного реагирования.

Основными специфическими требованиями к системам управления событиями и инцидентами информационной безопасности в АС СН являются: высокая оперативность и точность обнаружения и диагностирования как известных, так и новых инцидентов информационной безопасности, адекватность реагирования, учитывающего реальные организационно-технические возможности АС СН, высокая степень автоматизации всех функций управления. При этом программно-техническая основа системы должна быть простой в настройке и эксплуатации.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Обзор SIEM-систем на мировом и российском рынке [Электронный ресурс] / Электрон.текстовые дан. и граф. дан. — [Режим доступа: [http://www.anti-malware.ru/analytics/Technology\\_Analysis/Overview\\_SECURITY\\_systems\\_global\\_and\\_Russian\\_market](http://www.anti-malware.ru/analytics/Technology_Analysis/Overview_SECURITY_systems_global_and_Russian_market) (по состоянию на 26.09.2014).

2. Рынок систем сбора и корреляции событий (SIEM) в России [Электронный ресурс] / Электрон. текстовые дан. и граф. дан. — Режим доступа: <http://www.anti-malware.ru/node/11637#part2> (по состоянию на 26.09.2014)

3. Разработки ЗАО «НПО «Эшелон». [Электрон-

ный ресурс] / Электрон.текстовые дан. и граф. дан. — Режим доступа: <http://www.pro-echelon.ru/production/65/9855> (по состоянию на 26.09.2014).

4. Анализ информационной безопасности с помощью RSA SecurityAnalytics. / Электрон.текстовые дан. и граф. дан. — Режим доступа: [http://elvis.ru/upload/iblock/e19/RSA\\_SA.pdf](http://elvis.ru/upload/iblock/e19/RSA_SA.pdf) (по состоянию на 26.09.2014).

5. SIM-SEM, закройся! [Электронный ресурс] / Электрон.текстовые дан. и граф. дан. — Режим доступа: <http://www.pcweek.ru/idea/blog/idea/5224.php> (по состоянию на 26.09.2014).



*В.С. Акулов*

кандидат технических наук, НИЦ ТТ ВМФ КК и СОИ и Р

*Д.В. Салюк*

кандидат технических наук, доцент, ПАО «Интелтех»

*Л.Н. Угрик*

кандидат технических наук, НИЦ ТТ ВМФ КК и СОИ и Р

## УЧЕТ ТОЧНОСТИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ ПРИ РАСЧЕТЕ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

**АННОТАЦИЯ.** Рассматривается влияние точности прогнозирования электромагнитных полей на ожидаемые характеристики радиотехнических систем. Неопределенность уровня электромагнитных полей сигнала и помех характеризуется их стандартным отклонением и принимается, что распределение значений этих величин по отношению к медианному значению является логарифмически-нормальным. На примере радиосистем СДВ и ДВ диапазона показывается, что учет вероятностных характеристик является существенным при расчете таких параметров, как дальность действия проектируемых систем.

При расчетах отношения сигнал/шум, который характеризует качество канала связи, обычно используют прогнозируемые значения уровней сигнала и шума, которые, как правило, являются их медианными значениями. Для более корректного анализа качества канала необходимо использовать значения уровня сигнала, которое превышает с заданной вероятностью  $p$ , и уровень шума, который с этой вероятностью не превышает. Учет неопределенности (точности прогнозирования) указанных величин осуществляется их стандартным отклонением.

Считается, что распределение значений поля сигнала  $E_s$  по отношению к медианному значению  $E_{sm}$  является логарифмически-нормальным [1]. Тогда выраженное в децибелах поле сигнала, которое превышает с заданной вероятностью  $p$ , определяется выражением [2]

$$F_s = F_{sm} - x_p \sigma_s, \quad (1)$$

где  $F_{sm}$  — выраженное в децибелах значение  $E_{sm}$ ;  $\sigma_s$  — выраженное в децибелах стандартное отклонение уровня поля сигнала;  $x_p$  — квантиль, отвечающий вероятности  $p$  для величины, рас-

пределенной по стандартному нормальному закону, т. е. значение, следующее из уравнения

$$P(x_p) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{x_p} e^{-t^2/2} dt = p.$$

В табл. 1 приведены значения квантилей  $x_p$  для некоторых вероятностей  $p$  [3].

Таблица 1

$p$	0.5	0.90	0.95	0.99
$x_p$	0.00	1.28	1.64	2.33

Аналогично определяется уровень шума, который не превышает с той же вероятностью  $p$

$$F_n = F_{nm} + x_p \sigma_n, \quad (2)$$

где  $F_{nm}$  — выраженное в децибелах медианное значение уровня шума  $E_{nm}$ ;  $\sigma_n$  — выраженное в децибелах стандартное отклонение уровня шума.

Медианное значение напряженности поля шумов в точке приема  $E_{nm}$  определяется через их мощность в анализируемой полосе.

Из выражений (1) и (2) следует выраженное в децибелах отношение сигнал/шум, которое превышает с вероятностью  $p$

$$h = h_m - x_p \sigma, \tag{3}$$

где введено суммарное стандартное отклонение сигнала и шума

$$\sigma = \sigma_s + \sigma_n$$

и отношения медианных значений сигнала и шума

$$h_m = F_{sm} - F_{nm}. \tag{4}$$

Разумеется, что значение отношения сигнал/шум, выполняемое с заданной вероятностью, меньше значения, получаемого из медиан сигнала и шума.

Разность

$$\Delta h = h_m - h = x_p \sigma \tag{5}$$

определяет запас отношения сигнал/шум по отношению к медианному значению, который необходим для обеспечения требуемой вероятности приема  $p$ . Результаты расчетов по формуле (5) приведены на рис. 1.

Рассмотрим для примера СДВ диапазон и проанализируем возможные вариации отношения сигнал/шум, связанные с погрешностью прогнозирования полей.

Точность современных методов прогнозирования поля сигнала в данном диапазоне характеризуется стандартным отклонением  $\sigma_s$  до 3 дБ днем и до 6 дБ в ночных условиях [4]. Считается, что указанная точность является физическим

пределом и повышена быть не может, поскольку временные вариации поля связаны с естественными вариациями параметров ионосферы.

Стандартное отклонение уровня естественных шумов радиоприему  $\sigma_n$  составляет, по данным МККР, от 5 дБ до 9 дБ [5, 6]. Эта точность выявлена на основе длительных измерений и она включает неопределенности, связанные с суточными, сезонными и годовыми вариациями естественного фона. Она также не может быть повышена.

Для прогноза гарантированных параметров радиоканалов необходимо учитывать рассмотренные природные неопределенности, и, как следует из приведенных результатов, этот учет может оказаться существенным.

Возможные вариации прогнозируемого отношения сигнал/шум впечатляют. Однако на практике желательно представлять изменение от точности прогнозирования таких конечных параметров радиолинии, как, например, гарантированная предельная дальность передачи сигналов. Для такого анализа введем в рассмотрение медианное значение напряженности поля сигнала  $E(R)$  и ее значение  $F_{sm} = F(R)$ , выраженное в децибелах, как явные функции от расстояния  $R$  и перепишем выражение (3) с учетом обозначения (4)

$$h = F(R) - F_{nm} - x_p \sigma.$$

Допустим, что при неопределенности  $\sigma = \sigma_1$  отношение  $h$  выполняется на расстоянии  $R_1$ , т. е.

$$h = F(R_1) - F_{nm} - x_p \sigma_1, \tag{6}$$

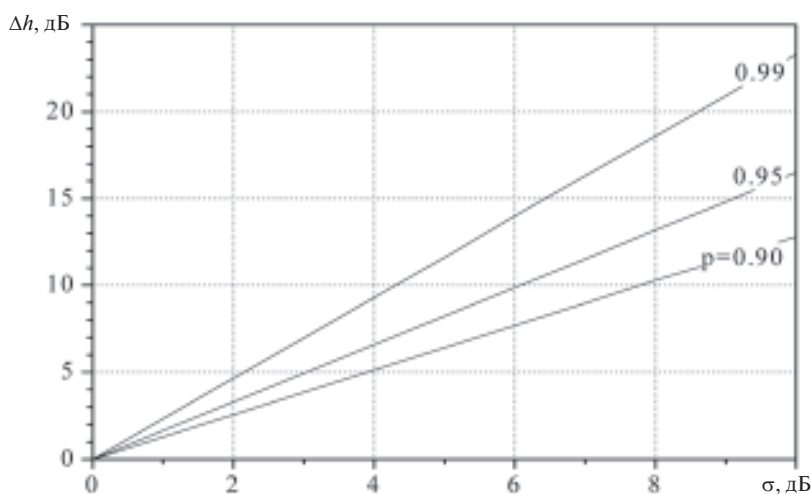


Рис. 1

а при  $\sigma = \sigma_2$  то же отношение  $h$  обеспечивается на расстоянии  $R_2$

$$h = F(R_2) - F_{nm} - x_p \sigma_2. \quad (7)$$

Считаем, что медианное значение шума  $F_{nm}$  в обоих случаях одинаково. Тогда из выражений (6) и (7) следует соотношение

$$F(R_1) - F(R_2) = x_p(\sigma_1 - \sigma_2), \quad (8)$$

описывающее связь между точностью прогноза поля сигнала и соответствующими гарантированными предельными расстояниями передачи сигналов.

Положим  $\sigma_1 = 0$ , что соответствует прогнозу поля на уровне медианного значения. В этом случае предельная дальность составит  $R_1 = R_m$ .

При  $\sigma_2 = \sigma > 0$  гарантированная предельная дальность будет меньше, т. е.  $R_2 = R_m - \Delta R$ . Значение  $\Delta R$  определяет уменьшение гарантированного предельного расстояния при учете неопределенности прогнозирования поля сигнала, задаваемой стандартным отклонением  $\sigma$ . С учетом сказанного соотношение (8) примет вид

$$F(R_m - \Delta R) - F(R_m) = x_p \sigma, \quad (9)$$

которое можно рассматривать как уравнение для определения значения  $\Delta R$  как функции от суммарного стандартного отклонения  $\sigma$ .

Дальнейший анализ продолжим для диапазонов СДВ и ДВ, где поле сигнала может быть описано известной приближенной формулой Остина [7]

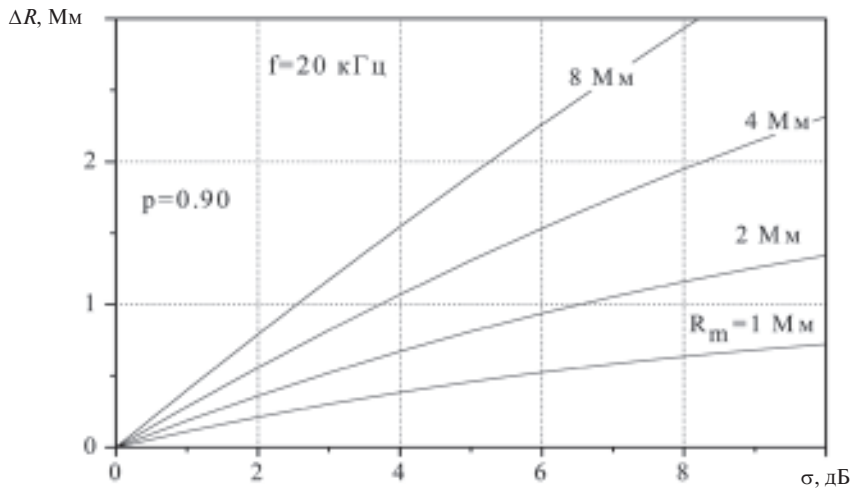


Рис. 2

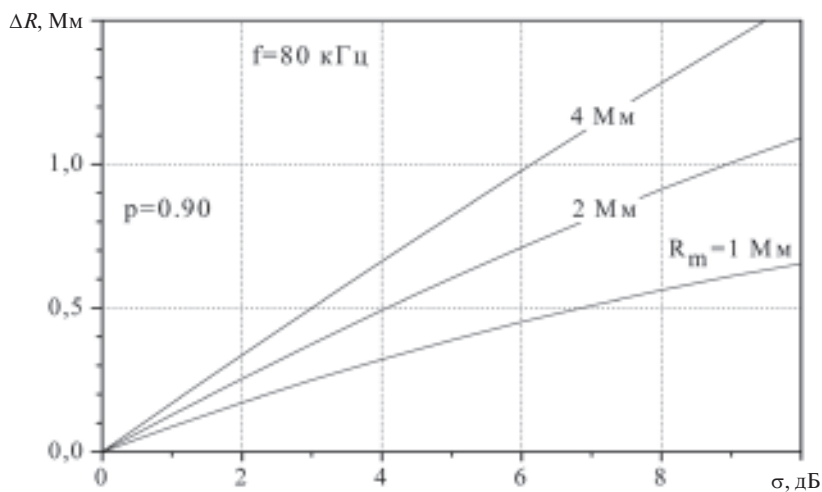


Рис. 3

$$E_{[MB/M]} = \frac{300\sqrt{P_{[кВм]}}}{R_{[км]}} \times \sqrt{\frac{\theta}{\sin \theta}} \exp\left(-\frac{0.0014}{\lambda_{[км]}^{0.6}} R_{[км]}\right), \quad (10)$$

где  $\theta = R/a$  — угловое расстояние между корреспондентами ( $a$  — радиус Земли), а остальные обозначения являются общепринятыми. Здесь же приводятся и размерности входящих в выражение величин.

Формула (10) в настоящее время не применяется для практических расчетов поля ввиду ее недостаточной точности. Однако она может быть использована для сравнительных оценок, поскольку удовлетворительно качественно описывает основные зависимости.

В рассматриваемых диапазонах вместо длины волны обычно задают частоту поля  $f$  в ки-

логгерцах, а расстояние удобнее измерять в мегаметрах (1 Мм = 1 тыс.км). С учетом этого формула (10) примет вид

$$E_{[мкВ/м]} = 120 \sqrt{\frac{P_{[кВм]}}{R_{[Мм]}}} \times \frac{1}{\sqrt{\sin \theta}} \exp\left(-0.0457 f_{[кГц]}^{0.6} R_{[Мм]}\right). \quad (11)$$

На рисунках 2 и 3 приведены результаты расчетов зависимости  $\Delta R(\sigma)$ , которые получены численным решением уравнения (9) при представлении поля сигнала формулой (11).

Приведенные результаты свидетельствуют о необходимости учета точности прогнозирования уровней сигнала и помех для обеспечения требуемых дальностей передачи информации с заданной вероятностью.

## ЛИТЕРАТУРА

1. **Быков В.В.** Цифровое моделирование в статической радиотехнике. М., Сов.радио, 1971.
2. **Смирнов Н.В., Дунин-Барковский И.В.** Курс теории вероятностей и математической статистики для технических приложений. М., Наука, 1965.
3. Справочник по специальным функциям. Под ред. М.Абрамовица и И.Стиган. М., Наука, 1979.
4. **W. M. McRae, N. R. Thomson.** Solar flare induced ionospheric D-region enhancements from VLF phase and amplitude observations // Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics 66, 77–87. 2004.
5. Отчет 322 МККР. Распределение по Земному шару атмосферных помех и их характеристики. М., Связь, 1965.
6. NTIA Report 85–173 U.S.Department of Commerce Malcolm Baldrige Secretary Boulder Colorado, 1985.
7. **Долуханов М.П.** Распространение радиоволн. М., Связь, 1972.

*В.А. Бабошин*

кандидат технических наук, доцент, ОАО «НИИ «Рубин»

*А.И. Мясникова*

ООО «Невастрой»

*К.Е. Легков*

кандидат технических наук, Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского

## **АНАЛИЗ ОПЫТА ПОСТРОЕНИЯ ОБЩЕГРАЖДАНСКИХ ЦИФРОВЫХ СЕТЕЙ В РОССИИ**

**АННОТАЦИЯ.** В статье рассматриваются варианты построения общегражданских цифровых сетей, которые функционируют в Российской Федерации, проводится анализ их построения и рассматриваются дальнейшие перспективы их развития в нашей стране. Показано место сетей NGN в построении транспортных мультисервисных сетей (магистральных сетей и сетей доступа) на основе решений NGN, проведен анализ рынка аренды цифровых каналов и смещение интересов потребителей в сторону IP VPN, рассмотрены вопросы модернизации существующих сетей

Единая сеть электросвязи Российской Федерации состоит из расположенных на территории РФ сетей электросвязи следующих категорий:

- сеть связи общего пользования;
- выделенные сети связи;
- технологические сети связи, присоединенные к сети связи общего пользования;
- сети связи специального назначения и другие сети связи для передачи информации при помощи электромагнитных систем.

Развертывание сетей NGN в РФ будет накладываться на существующую архитектуру этих сетей, которая, как правило, включает два уровня:

- региональный;
- магистральный (включая межрегиональную составляющую).

Как пример, на рис. 1 рассмотрена архитектура сети NGN в составе ССОП.

На региональном уровне (уровень субъектов РФ, Metro) создаются сети NGN, призванные обеспечивать подключение абонентов и предоставление им как транспортных, так и прикладных услуг. Кроме того, они могут стыковаться с инфокоммуникационными службами других региональных сетей.

На магистральном уровне (федеральный уровень, уровень федеральных округов РФ) создаваемая NGN должна отвечать за прозрачный транзит конвергентного трафика, получаемого от региональных сегментов. При этом главная архитектурная особенность NGN заключается в том, что передача и маршрутизация пакетов и базовые элементы транспортной инфраструктуры (каналы, маршрутизаторы, коммутаторы, шлюзы) физически и логически отделены от устройств и механизмов управления вызовами и доступом к услугам.

Следовательно, в общей архитектуре сети NGN транспортные сети NGN входят в состав NGN и на региональном, и на магистральном уровнях.

Подходы к построению транспортных сетей NGN в равной мере представляют интерес как для операторов сетей связи общего пользования (стационарных и мобильных), так и для операторов технологических сетей связи — ведомственных и корпоративных. Несмотря на то, что технологические сети связи, как правило, имеют определенную профессиональную ориентацию и специализацию, при их развитии также учитывается идеология NGN.



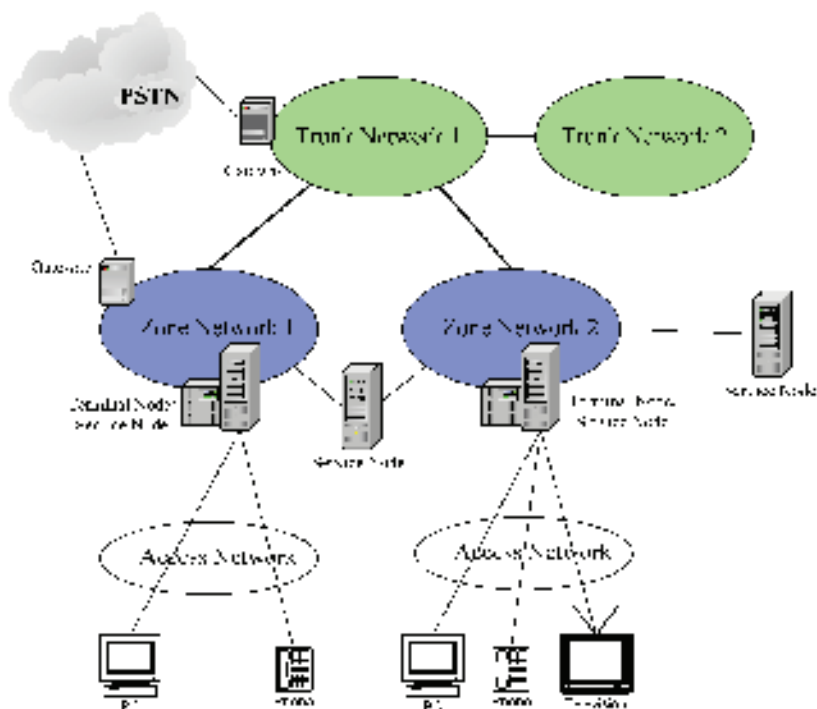


Рис. 1. Двухуровневая архитектура сети NGN в составе ССОП

Таким образом, можно провести следующую классификацию потребителей оборудования для транспортных сетей NGN, предлагаемого представленными в России вендорами:

а) операторы магистральных транспортных IP-сетей федерального и макрорегионального масштаба:

— транзитные операторы PSTN/PLMN (ОАО «Ростелеком», ЗАО «Межрегиональный ТранзитТелеком» — «МТТ»);

— альтернативные операторы федерального масштаба, работающие в следующих сегментах телекоммуникационного рынка: аренда каналов передачи данных IP MPLS, услуги передачи данных на базе IP/MPLS, стационарная телефонная связь, мобильная связь, IP-телефония, Интернет-доступ, цифровое телевидение;

— операторы технологических сетей связи (наиболее крупные операторы — в отраслях транспорта и топливно-энергетической).

б) операторы региональных (внутризональных) и городских (Metro) транспортных IP-сетей:

— межрегиональные компании (МРК) ОАО «Связьинвест» (филиалы МРК в субъектах РФ);

— альтернативные региональные операторы, работающие в следующих сегментах телекоммуникационного рынка: аренда каналов передачи данных IP MPLS, услуги передачи данных на

базе IP/MPLS, стационарная телефонная связь, мобильная связь, IP-телефония, Интернет-доступ, цифровое телевидение;

— региональные операторы технологических сетей связи (наиболее крупные операторы — в отраслях транспорта и топливно-энергетической).

В РФ действует в общей сложности несколько тысяч операторов телекоммуникационных сетей в приведенной выше классификации (большая часть из них — региональные альтернативные и ведомственные операторы). Поэтому для проведения анализа состояния и тенденций развития транспортных сетей NGN были выбраны наиболее крупные из этих операторов на основе существующих рейтинговых и экспертных оценок по итогам деятельности в 2014 г. и 1-м полугодии 2015 г., а также сведений о реализации проектов по развертыванию сетей NGN новыми операторами.

#### **Место сетей NGN в построении транспортных мультисервисных сетей (магистральных сетей и сетей доступа) на основе решений NGN**

В качестве базовой технологии для построения магистральных транспортных мультисервисных IP-сетей, являющихся основой сетей NGN

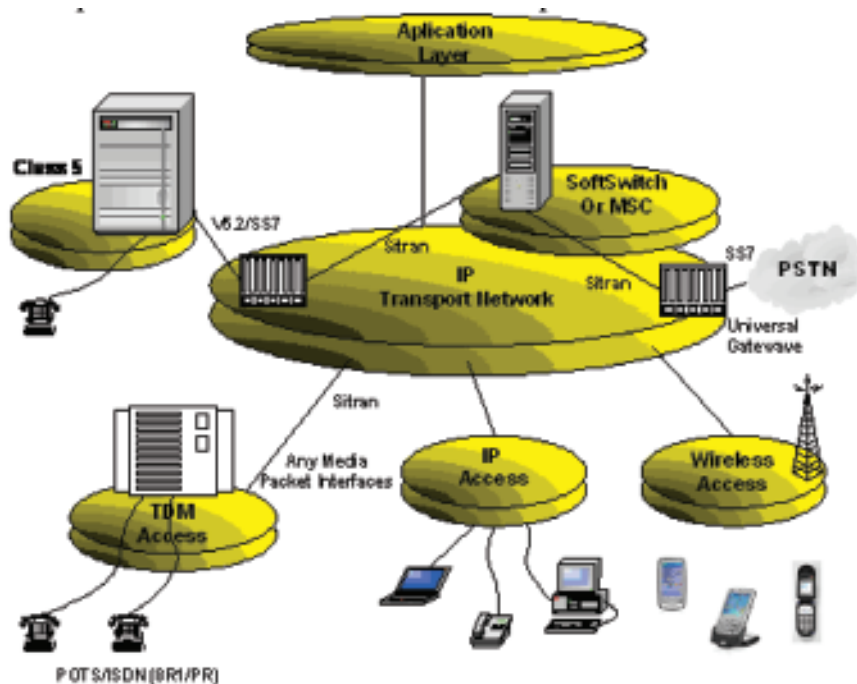


Рис. 2. Место универсальной транспортной IP-сети в архитектуре NGN

и связующим звеном между их структурными компонентами (рис. 2), большинство участников российского рынка рассматривает технологию пакетной передачи данных IP/MPLS.

Сети IP/MPLS (Multiprotocol Label Switching) строятся по иерархической двухуровневой архитектуре, включающей опорный слой (ядро) MPLS-коммутации IP-трафика и граничный слой, который несет основную нагрузку по обслуживанию абонентов и составляет основной «интеллект» сети.

Технология MPLS предоставляет следующие преимущества:

- предоставление в маршрутизируемой среде ориентированных на соединение сервисов с возможностью динамической перестройки маршрутов и обхода отказавшего узла;

- управление информационными потоками (traffic engineering), приоритезация трафика по меткам в соответствии с классом обслуживания (CoS), простое и экономичное решение проблемы качества сервиса (QoS);

- эффективная передача больших объемов трафика в магистральных сетях, сокращение размеров таблиц маршрутизации в ядре сети, коммутация пакетов на основе меток, прозрачная передача через ядро сети IP/MPLS трафика Ethernet и ATM/FR;

- консолидация сетевой инфраструктуры, объединение разнородных сетей IP, ATM и Frame Relay с сокращением операционных расходов. Упрощение управления сетями за счет переноса сервисов SDH и ATM на более высокий сетевой уровень;

- простое наращивание узлов в сетях VPN и подключение к ядру MPLS абонентов, применяющих разные технологии доступа, для предоставления услуг VPN;

- организация прозрачных виртуальных корпоративных сетей (VPN) на третьем (RFC-2547 bis) или втором (проекты Martini, Kompella) сетевом уровне\*.

\* Виртуальные частные сети второго уровня (Layer 2 VPN) определены в проекте, который получил название Martini. Этот проект также находится на рассмотрении рабочей группы PWE3. Идея здесь заключается в организации туннелей для трафика Ethernet, Frame Relay, ATM и PPP через сеть MPLS. Группа PWE3 работает и над другими похожими предложениями, но со стороны сервис-провайдеров наибольший интерес вызвал проект Martini.

Функции VPN 3-го уровня ( IETF RFC 2547bis) позволяют операторам связи и поставщикам услуг предлагать корпоративным пользователям доступ к возможностям виртуальных частных сетей, используя технологию туннелирования на уровне коммутации каналов (Circuit Cross-Connect Tunneling), которая обеспечивает консолидацию пропускной способности сети и способствует сокращению расходов на оборудование и эксплуатацию.

Можно полагать, что операторы, у которых не установлено традиционное оборудование SONET/SDH, будут более быстро и активно переходить к пакетно-ориентированным технологиям транспортных сетей, используя MPLS в качестве уровня конвергенции. Даже операторы, владеющие сетями с развитой инфраструктурой SONET/SDH, могут рассматривать пакетно-ориентированную архитектуру в качестве долгосрочной цели, так как эта архитектура полностью оптимизирована для транспортировки данных. Пакетная сеть может внедряться как оверлейная поверх существующей сети SONET/SDH с коммутацией каналов. После этого трафик можно постепенно переводить в пакетную сеть с тем, чтобы в конечном итоге вывести оборудование SONET/SDH из опорной сети.

#### **Рынок аренды цифровых каналов — смещение интересов потребителей в сторону IP VPN**

Развитие экономики в РФ за последние несколько лет повлекло за собой множество слияний и поглощений. В результате появился ряд компаний, которым необходимо взаимодействовать со своими региональными структурами и эффективно управлять ими. Кроме этого, в России активно развиваются различные международные транснациональные корпорации, создающие широкие филиальные сети в регионах.

Высокие цены в России на аренду выделенных цифровых каналов (магистральных и внутризоновых) и, соответственно, высокая стоимость развертывания корпоративных сетей связи на основе выделенных каналов способствуют росту рынка IP VPN (Virtual Private Network).

Услуга IP VPN предназначена для корпоративных пользователей, имеющих несколько офисов с локальными сетями и желающих объединить эти сети в единое информационное пространство, защищенное от публичного трафика технологией VPN. Между территориально-удаленными сегментами корпоративной сети через каналы IP VPN возможна передача любой информации, передаваемой по протоколу IP. Количество точек включения в VPN не ограничено. Услуга IP VPN базируется на использовании ресурсов мультисервисной транспортной сети IP MPLS.

В 2015 г. в РФ наблюдался взрывообразный рост спроса со стороны таких компаний на услуги IP VPN. По данным Росбизнесконсалтинг, уровень проникновения услуги IP VPN в РФ на

конец 2014 г. составлял 50 %, а среднегодовой темп роста оценивался в 25 %.

В секторе IP VPN преобладают две явные тенденции — увеличение пропускной способности существующих портов и быстрое расширение географии предоставления услуги. По оценкам операторских компаний, услуга IP VPN сегодня одна из самых востребованных на российском рынке передачи данных.

Услуги IP VPN предлагают практически все крупные российские операторы передачи данных, действующие в гг. Москве и С.-Петербурге. Этот сервис на базе собственных мультисервисных сетей IP MPLS предлагают следующие ключевые игроки:

- операторы федерального масштаба «Эквант», «ТрансТелеком», «РТКомм», холдинг «Голден Телеком»;
- МРК «Связьинвеста»;
- московский оператор «Комстар-ОТС» и его дочерняя компания «Голден Лайн», петербургские операторы «ПетерСтар», «Вэб Плас».

Поскольку иметь IP VPN в своем портфеле услуг стало модно и престижно, о предоставлении данной услуги заявляют и небольшие операторы («Зенон Н.С.П.», «Караван» и др.).

Объем сегмента IP VPN, по оценкам Boston Consulting Group, в 2015 г. составит около 70–80 млн. долл. В 2016 г. объем и доля услуг VPN среди прочих услуг связи будет только расти. Это обусловлено взрывным ростом спроса как собственно на организацию высокоскоростных защищенных корпоративных сетей, так и на увеличение объемов всех видов передаваемой информации (данных, голоса и видео).

Таким образом, необходимость развития сетей IP VPN российскими операторами способствуют росту спроса с их стороны на решения для мультисервисных транспортных сетей NGN на базе IP MPLS.

#### **Вопросы модернизации существующих сетей**

Необходимость модернизации ТфОП является одним из основных движущих факторов внедрения решений NGN на сетях фиксированной связи РФ. Основные причины модернизации ТфОП:

- изменение спроса на услуги связи, возрастание спроса на дополнительные услуги;
- необходимость гибкой адаптации и персонализации услуг под индивидуальные потребности абонента;

— выравнивание объемов телефонного трафика и трафика данных (Интернет, корпоративные сети);

— моральный и физический износ существующего оборудования.

Как мы уже отмечали, место и технология внедрения решений NGN в фиксированных сетях PSTN российских операторов регламентируются новым отраслевым нормативным документом — РТМ «Принципы построения мультисервисных местных сетей электросвязи».

Предполагается, что модернизация ТфОП в направлении NGN будет происходить путем эволюционной согласованной замены различных элементов ТфОП (аналоговых и цифровых на базе TDM-решений) на решения NGN в составе транспортной сети NGN, SoftSwitch, мультимедиа-шлюзов, мультисервисных абонентских платформ доступа, платформ приложений на базе IMS и др.

На рис. 3 показана упрощенная модель транспортной сети, которая демонстрирует переход от первичных TDM-сетей к мультисервисной транспортной IP-сети.

В большинстве российских регионов (в т.ч. в их административных и промышленных центрах) операторами сетей PSTN уже построены

транспортные сети на основе оборудования SDH (за исключением уровня доступа). В некоторых случаях кабель с оптическим волокном (ОВ) задействован полностью. Это означает, что у оператора нет так называемых «темных волокон» для формирования тех транспортных ресурсов, которые не связаны с трактами STM. На рис. 4 показан тот подход, который рекомендован оператору для образования новых транспортных средств без создания STM трактов.

Из общего числа ОВ, равного  $K + L$ , выделяются две группы волокон. Первая группа, состоящая из  $K$  волокон, уплотняется, как и ранее, оборудованием SDH. Для создания необходимого числа STM-трактов может использоваться оборудование компактного спектрального уплотнения DWDM.

Вторая группа, состоящая из  $L$  волокон, используется для создания Ethernet-трактов. Эта технология позволяет реализовать одно из оптимальных транспортных средств для Интернет и мультисервисной сети в целом. Предлагаемый подход иллюстрирует эволюционную стратегию создания транспортной сети NGN. Эта концепция представляется основной для Операторов ТфОП.

В принципе, для некоторых операторов может оказаться привлекательным одномоментный

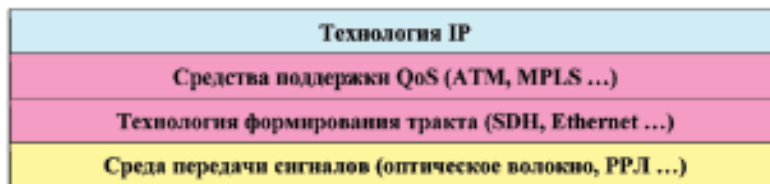


Рис. 3. Упрощенная модель транспортной сети NGN

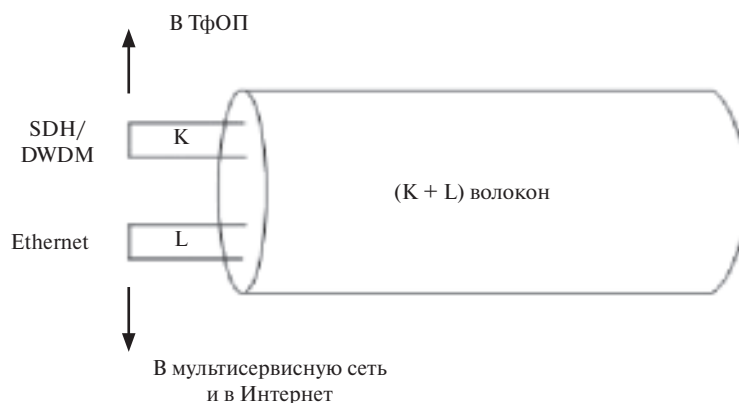


Рис. 4. Образование новых транспортных ресурсов при отсутствии «темных волокон»

переход на новую технологию. В этом случае оборудование SDH либо более не используется, либо эксплуатируется далее совместно с коммутаторами ATM. Это означает, что мультисервисная сеть будет основана на принципе «ATM over SDH». Возможны также и другие решения. В частности, новое поколение оборудования SDH содержит порт Ethernet, что позволяет использовать подход «Ethernet over SDH». Он считается привлекательным благодаря возможностям SDH по эффективному управлению транспортной сетью.

С системной точки зрения переход к IP-технологии в сетях местной фиксированной связи имеет ряд весьма специфических особенностей. Их можно сформулировать в виде следующих трех тезисов:

Основным стимулирующим фактором перехода к NGN можно считать требования пользователей, что предопределяет изменения в тер-

минальном оборудовании, а также в сетях доступа.

К дополнительным факторам перехода к NGN, существенным для Оператора, можно отнести необходимость замены некоторых видов эксплуатируемого оборудования по причинам его морального и/или физического старения, а также поддержку конкурентоспособности на рынке новых видов обслуживания.

Модернизацию сети в большинстве случаев необходимо начинать с построения базовой IP-сети (Core Network), поддерживающей все показатели QoS, определенные для пакетных технологий.

Мультисервисные сети, за исключением их строительства новым оператором, будут формироваться на базе эксплуатируемых ныне аппаратно-программных средств и линейных сооружений. По оценкам экспертов, в РФ эволюционный переход к NGN на сетях ТФОП займет несколько лет.

## ЛИТЕРАТУРА

1. **Легков К.Е., Буренин А.Н.** К вопросу управления эффективностью инфокоммуникационных систем специального назначения // Научные технологии в космических исследованиях Земли. — 2014. № 1. — С. 38–43.
2. **Легков К.Е.** Модели управления процессами обмена в службе передачи и доставки файлов инфокоммуникационных сетей специального назначения // Научные технологии в космических исследованиях Земли. — 2014. № 4. — С. 38–43.
3. **Легков К.Е.** К вопросу организации процессов управления инфокоммуникационными сетями специального назначения // Научные технологии в космических исследованиях Земли. — 2014. № 5. — С. 34–40.
4. **Легков К.Е., Скоробогатова О.А.** Основные направления развития автоматизированных систем управления специального назначения и требования предъявляемые к ним системой управления // Научные технологии в космических исследованиях Земли. — 2013. № 1. — С. 40–45.
5. **Буренин А.Н., Легков К.Е.** Особенности архитектур, функционирования, мониторинга и управления полевыми компонентами современных инфокоммуникационных сетей специального назначения // Научные технологии в космических исследованиях Земли. — 2013. № 3. — С. 12–17.
6. **Буренин А.Н., Легков К.Е.** Некоторые модели управления безопасностью инфокоммуникационных сетей специального назначения // Научные технологии в космических исследованиях Земли. — 2013. № 4. — С. 46–50.
7. **Буренин А.Н., Легков К.Е.** К вопросу математического описания потоков управляющей информации в процессе управления современной инфокоммуникационной сетью специального назначения // Научные технологии в космических исследованиях Земли. — 2013. № 5. — С. 8–12.
8. **Буренин А.Н., Легков К.Е., Нестеренко О.Е.** К вопросу построения систем управления современными инфокоммуникационными сетями специального назначения // Научные технологии в космических исследованиях Земли. — 2013. № 6. — С. 22–28.
9. **Буренин А.Н., Легков К.Е., Мясникова А.И.** Некоторые подходы к системному анализу процессов управления современными мультисервисными сетями связи // Научные технологии в космических исследованиях Земли. — 2012. № 1. — С. 11–13.
10. **Легков К.Е., Буренин А.Н.** Модели организации информационной управляющей сети для системы управления современными инфокоммуникационными сетями // Научные технологии в космических исследованиях Земли. — 2012. № 1. — С. 14–16.
11. **Легков К.Е., Буренин А.Н.** Модели процессов мониторинга при обеспечении оперативного контроля эксплуатации инфокоммуникационных систем специального назначения // Научные технологии в космических исследованиях Земли. — 2012. № 2. — С. 4–7.
12. **Буренин А.Н., Легков К.Е.** К вопросу управления рисками при обеспечении безопасности инфокоммуникационных сетей специального назначения // Научные технологии в космических исследованиях Земли. — 2012. № 3. — С. 17–19.
13. **Легков К.Е., Мясникова А.И.** Управление инфокоммуникационными услугами в мультисервисных сетях специального назначения // Научные технологии в космических исследованиях Земли. — 2012. № 3. — С. 20–22.



*Д.В. Баканов*

кандидат экономических наук, ОАО «Спутниковая система «Гонец»

*Н.В. Мороз*

кандидат технических наук, доцент, ООО «Геонавигатор»

*Г.Г. Пухов*

кандидат технических наук, профессор, ООО «Геонавигатор»

*Д.В. Салюк*

кандидат технических наук, доцент, ПАО «Интелтех»

*А.А. Тимчук*

кандидат технических наук, ЗАО «Схемотехника»

## **ПРИМЕНЕНИЕ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ПЕРСОНАЛЬНОЙ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ «ГОНЕЦ-Д1М» ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МЕЖДУ УДАЛЕННЫМИ АБОНЕНТАМИ**

Многофункциональная система персональной спутниковой связи «Гонец-Д1М» (далее также — МСПСС «Гонец», система «Гонец») разработана и развертывается соответствии с Федеральной космической программой РФ на 2005–2015 гг.

Система «Гонец» предназначена для обеспечения передачи информации между мобильными и стационарными абонентами, находящимися в любой точке Земли.

Главной исполнитель работ по проекту МСПСС «Гонец-Д1М» в части космического комплекса — ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М.Ф. Решетнева» (г. Железногорск Красноярского края). Соисполнитель работ по проекту МСПСС «Гонец-Д1М» в части связного комплекса — ОАО «НИИ точных приборов» (ОАО «НИИ ТП» г. Москва). Главной изготовитель БРТК «Садко» для КА «Гонец-М» — ОАО «Ижевский радиозавод». Предприятие, обеспечивающее операторские сервисы и эксплуатацию МСПСС «Гонец-Д1М» — ОАО «Спутниковая система Гонец».

Управление орбитальной группировкой МСПСС «Гонец» и функционированием связно-

го комплекса обеспечивают головное предприятие ОАО «Спутниковая система «Гонец» и его филиалы, расположенные в Центре управления связью и Центральной региональной станции (ЦРС-1) в г. Москва, на региональных станциях (далее также — РС) (г. Железногорск Красноярского края, пос. Тикси, г. Южно-Сахалинск).

На базе системы «Гонец-Д1М» с КА «Гонец-Д1» созданы и эксплуатируются подсистемы передачи информации, обеспечивающие функционирование выделенной сети связи Службы внешней разведки РФ, связь с организациями и подразделениями Росатома, Росгидромета, Пограничных управлений ФСБ по Архангельской, Мурманской области, Северо-Восточного ПУ береговой охраны ФСБ...

МСПСС «Гонец-Д1М» обеспечивает:

1. Обмен сообщениями между абонентами системы, находящимися в любой точке Земного шара.
2. Передачу данных о местоположении абонентов, полученных с использованием системы ГЛОНАСС.
3. Обмен сообщениями между абонентами системы и абонентами внешних сетей (с использованием ресурсов Региональных станций).

4. Циркулярную (широковещательную) передачу сообщений группе пользователей.

5. Передачу телеметрической информации от датчиков и извещателей контролируемых объектов в центры мониторинга

Зоны электромагнитной доступности (ЭМД) БРТК охватывают всю территорию Земного шара. Зона ЭМД одного КА составляет 5000 км.

МСПСС «Гонец» в совокупности с глобальной навигационной спутниковой системой (ГНСС) «ГЛОНАСС» обеспечивает создание на территории Земного шара единое информационно-навигационное поле, способное обеспечить пользователей возможностями навигации и связи на любой широте и долготе.

Преимущества низкоорбитальной спутниковой системы «Гонец» в сравнении с другими глобальными системами связи:

- высокая надежность системы (неисправность отдельных КА влияет только на увеличение времени ожидания сеанса связи);
- доступ абонентов непосредственно к БРТК позволяет создавать замкнутые ведомственные сети связи;
- масштабируемость и оперативность развертывания сети связи;
- малые массогабаритные характеристики абонентских терминалов (в МСПСС «Гонец-

Д1М» применяются спутниковые антенны массой от 0,3 до 2кг; масса типового приемопередающего модуля около 0,2кг);

- всенаправленная антенна (верхняя полусфера) не требует сложных систем наведения и сопровождения КА.

Для обеспечения передачи информации развернута и эксплуатируется группировка низкоорбитальных космических аппаратов (далее также — КА) с бортовыми радиотехническими комплексами (далее также — БРТК). В настоящее время группировка КА включает 13 космических аппаратов (12 КА «Гонец-М» и 1 КА «Гонец-Д1»).

Характеристики орбитальной группировки приведены в табл. 1 и табл. 2.

Время ожидания (ВО) сеанса связи абонентом в зависимости от географической широты при 9 КА в орбитальной группировке приведено в табл. 3.

Время ожидания сеанса связи абонентом в зависимости от географической широты при 12 КА в орбитальной группировке приведено в табл. 4.

Время ожидания сеанса связи абонентом в зависимости от географической широты при 24 КА в орбитальной группировке (полная группировка) приведено в табл. 5.

Таблица 1


	Расчетный срок службы серийного КА	Не менее 5 лет
	Высота, км	1350–1500
	Наклонение, градусов	82,5
	Количество плоскостей	4
	Количество КА в плоскости	3–4

Таблица 2

Характеристики	«Гонец-Д1»	«Гонец-М»	«Гонец-М1»*
Пропускная способность КА	15 Мбит/сут.	270 Мбит/сут.	До 5000 Мбит/сут.
Объем бортового ЗУ	1,5 Мбайт	8 Мбайт	64 Мбайт
Скорость передачи информации	2,4 Кбит/с	2,4–64 Кбит/с	2,4–1024 Кбит/с
Количество каналов ПД	1	14	50

\*(создается, как следующий этап)

Таблица 3

Населенный пункт	Широта (градус)	Вероятность сеанса = 0,9 ВО, мин	Вероятность сеанса = 0,8 ВО, мин	Вероятность сеанса = 0,7 ВО, мин
Меру (Кения)	0	102.29	34.62	17.78
Фули (Вьетнам)	20	99.77	24.43	16.85
Куруш (Армения)	40	29.11	15.94	10.80
Белгород, (Россия)	50	22.10	11.79	5.89
Выборг, (Россия)	60	14.34	4.70	1.34
пролив Карские ворота, Баренцево море	70	4.63	0.00	0.00
Остров Галля, Северный Ледовитый океан	80	0.70	0.00	0.00

Таблица 4

Населенный пункт	Широта (градус)	Вероятность сеанса = 0,9 ВО, мин	Вероятность сеанса = 0,8 ВО, мин	Вероятность сеанса = 0,7 ВО, мин
Меру (Кения)	0	25.04	19.98	13.54
Фули (Вьетнам)	20	19.47	14.97	8.85
Куруш (Армения)	40	17.79	12.04	8.08
Белгород, (Россия)	50	15.00	8.19	2.17
Выборг, (Россия)	60	5.64	1.78	0.00
пролив Карские ворота, Баренцево море	70	3.45	0.00	0.00
Остров Галля, Северный Ледовитый океан	80	0.64	0.00	0.00

Таблица 4

Населенный пункт	Широта (градус)	Вероятность сеанса = 0,9 ВО, мин	Вероятность сеанса = 0,8 ВО, мин	Вероятность сеанса = 0,7 ВО, мин
Меру (Кения)	0	7.44	2.80	0.67
Фули (Вьетнам)	20	7.95	3.30	0.89
Куруш (Армения)	40	1.23	0.00	0.00
Белгород, (Россия)	50	0.00	0.00	0.00
Выборг, (Россия)	60	0.00	0.00	0.00
пролив Карские ворота, Баренцево море	70	0.00	0.00	0.00
Остров Галля, Северный Ледовитый океан	80	0.00	0.00	0.00

Технические характеристики абонентских терминалов диапазона 0,3 ... 0,4 ГГц

Основные характеристики АТ Д2	
Диапазон частот, МГц в канале БРТК — АТ в канале АТ — БРТК	387 ... 390 312 ... 315
Скорость передачи информации, кбит/с в канале БРТК — АТ в канале АТ — БРТК	9,6; 38,4; 76,8 2,4; 4,8; 9,6
Мощность передатчика, Вт	Стационарные, возимые — не более 10
Объем сообщения, передаваемого в 1 сеансе связи, байт	До 20 (пакетами)

Объем одного пакета сообщения, байт	До 1300
Точность определения местоположения подвижного объекта	До 10 м в системе ГЛОНАСС/GPS
Подключение оконечных устройств пользователя	Мобильный (возимый), стационарный — RS-485 или 100Base-TX
Масса, кг	Рабочий комплект терминала — 0,4–3 кг в зависимости от типа и комплектации
Напряжение питания, В	Стационарные, мобильные (возимые) — от источника переменного тока 110/220 В 50 Гц, блок приема/передачи также имеет возможность питания от источника постоянного тока 12 В
Потребляемая мощность спутникового модема, ВА	Стационарные, мобильные — не более 36 ВА
Внутренняя память терминала (параметры)	Энергонезависимое хранение исходящих сообщений суммарным объемом 2 Мбайт до их передачи в БРТК, входящих сообщений суммарным объемом 2 Мбайт до их передачи во внешнее устройство пользователя
Устойчивость к воздействию внешних факторов	по стойкости к воздействию механических и климатических факторов соответствуют требованиям ГОСТ 16019–2001 по группе В5, степень жесткости 2 со следующими дополнениями и уточнениями: предъявляются требования по пониженному атмосферному давлению, соляному туману, пыли и песку, инею и росе, атмосферным выпадаемым осадкам (дождю); для реализации дополнительных требований терминал размещается в специальном защищенном корпусе АФУ-Д2, антенна навигационного приемника ГЛОНАСС/GPS обеспечивают функционирование по назначению без деформаций конструкции при ветровой нагрузке — не менее 28 м/с.



Рис. 1. Абонентский терминал МСПСС «Гонец» диапазона 0,3 ... 0,4 ГГц

**Вывод:** Применение многофункциональной системы персональной спутниковой связи «Гонец-Д1М» позволяет эффективно решить задачу обеспечения связи с удаленными специальными объектами (в особенности маломерными объектами). Абонентские терминалы МСПСС «Гонец-Д1М» удовлетворяют требованиям по пропускной способности, стойкости к воздействию внешних факторов среды, массогабаритным характеристикам, обладают низкой стоимостью.

*Приложение.* Внешний вид абонентского оборудования МСПСС «Гонец-Д1М»

Внешний вид абонентского терминала представлен на рис. 1.

Внешний вид штатной антенны абонентского терминала представлен на рисунках 2, 3.

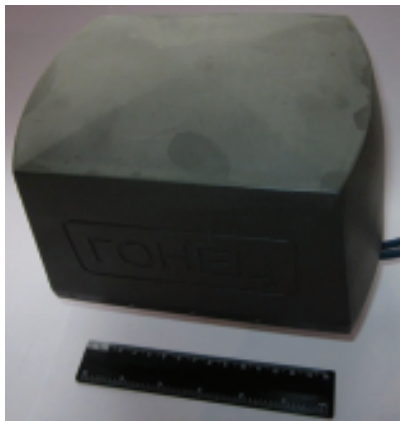


Рис. 2. Внешний вид антенны в радиопрозрачном корпусе (укрытии)

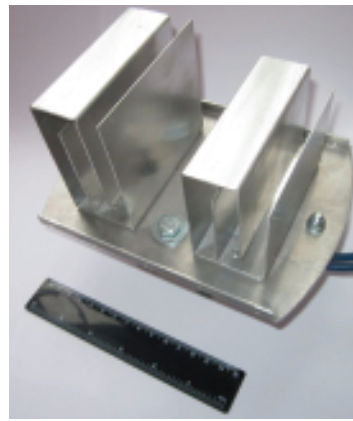


Рис. 3. Внешний вид антенны со снятой крышкой корпуса (радиопрозрачного укрытия)

### ЛИТЕРАТУРА

1. Спутниковая связь и вещание: Справочник Под ред. Л.Я. Кантор, М.: Радио и связь, 1997. — 528 с.: ISBN: 5–256–00809–9.

2. Спутниковые сети связи: Учеб. пособие / В.Е. Камнев, В.В. Черкасов, Г.В. Чечин — М.: «Альпина Паблишер», 2004. — 536 с.: ил. ISBN 5–94599–099–X.



*К.З. Билятдинов*

кандидат военных наук, НМСУ «Горный»

*Р.Н. Кириченко*

кандидат военных наук, Открытое акционерное общество «СУПЕРТЕЛ»

*А.Г. Фортинский*

кандидат технических наук, ФГУП «ЦНИИ ЭИСУ»

## **УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ АСУ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

**АННОТАЦИЯ.** Представлены основы формирования управления качеством АСУ, задачи управления качеством, оценка, контроль и резервы повышения качества.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** управление качеством, оценка, метод, резерв.

Современные требования к управлению сложными системами диктуют необходимость постоянного повышения качества автоматизированных систем управления (АСУ) специального назначения. Одним из основных направлений этой работы можно считать оптимизацию применения современных инфокоммуникационных технологий и средств при разработке, техническом обеспечении и эксплуатации АСУ специального назначения на основе методологии управления качеством.

В ряде работ представлены основы теории и практики в области АСУ и управления качеством. [1–6].

Но многие практические аспекты управления качеством АСУ не в полной мере нашли должное отражение в современных научных исследованиях. Кроме того, учитывая цели создания и функционирования АСУ, условия и воздействие внешней среды было бы не верно целиком и полностью основывать управление качеством АСУ на общепринятом современном менеджменте качества, международных стандартах серии ISO 9000, концепции TQM и других теоретических положениях, требованиях и рекомендациях, которые, в конечном счете, ориентированы на удовлетворение потребностей рынка и получение прибыли. В лучшем случае их успешно применяют при разработке и создании программно-технических средств

АСУ, что позволяет обеспечивать требуемое качество на техническом уровне. [1–3].

В то же время повышение требований к управлению в условиях ограничения ресурсов и времени, а так же с учетом перспектив развития, обуславливают необходимость разработки методов управления качеством АСУ на организационном уровне, в особенности при техническом обеспечении и эксплуатации АСУ.

Учитывая актуальность данной проблемы целесообразно дать определение термину «управление качеством АСУ».

Управление качеством АСУ — это деятельность должностных лиц (ДЛ), направленная на обеспечение (повышение) требуемого уровня качества: выполнения функций системы (процессов функционирования), программно-аппаратных средств и персонала.

По мнению В.С. Анфилатова и А.А. Кукушкина: основными группами функций системы управления являются:

- функции принятия решений;
- функции преобразования содержания информации;
- рутинные функции обработки информации;
- функции обмена информацией. [5, С.11].

Очевидно, что качество выполнения функций АСУ напрямую зависит от качества программно-аппаратных средств и персонала.

По нашему мнению основной целью управления качеством АСУ обоснованно можно считать достижение требуемого уровня (повышение) качества с наименьшим расходом ресурсов и времени.

Разумеется, никакая цель не может быть достигнута без затрат ресурсов и времени. Управление качеством АСУ за счет направленности на оптимизацию процесса применения современных инфокоммуникационных технологий и средств, позволяет быть тем инструментом управления, который обеспечивает на организационном уровне соблюдение баланса интересов, как в области расхода ресурсов и времени, так и в необходимости постоянного поддержания требуемого уровня (повышения) качества.

Достижение вышеизложенной цели обеспечивается комплексным решением следующих взаимосвязанных задач в сфере обеспечения качества:

1. Разработки, технического обеспечении и эксплуатации программно-аппаратных средств, технических устройств и других изделий, применяемых в АСУ (далее изделий);

2. Формированию и применению методов повышения качества функционирования АСУ;

3. Подготовки высококвалифицированного персонала по эксплуатации и техническому обеспечению АСУ;

4. Анализа, контроля и оценки качества изделий, подготовки персонала и функционирования АСУ.

При комплексном и последовательном решении вышеперечисленных задач управление качеством АСУ целесообразно рассматривать как сложный процесс.

Этот процесс можно представить в виде последовательности действий ДЛ, которая включает в себя:

- определение и (или) изучение требований к управлению и требований к АСУ: функционированию, изделиям, персоналу;

- на основе требований определение показателей оценки качества и их требуемых значений для процессов функционирования, изделий, персонала;

- разработку и применение методов контроля и оценки качества;

- анализ результатов оценки и выявление проблем (причин проблем) в области качества;

- при необходимости разработку и внедрение предложений по повышению качества АСУ.

Таким образом, действия ДЛ в сфере управления качеством АСУ будут основаны на оценке качества. В общем случае оценку качества АСУ можно определить как нахождение степени соответствия или сравнения существующего положения с требуемым.

В теории существует несколько вариантов оценки систем и процессов. В общем можно выделить три основных подхода (варианта) к оценке качества, которые применяют при управлении качеством АСУ на организационном уровне.

Первый вариант самый простой и наиболее распространенный в настоящее время. При его реализации оценка основывается на мнении должностных лиц. При этом эти должностные лица могут быть как из числа руководителей, так и из числа специально назначенных проверяющих (контролеров). При первом варианте оценка зависит от объективности должностных лиц, их опыта, уровня компетенций, от знания положения дел, требований и перспектив развития, умения делать выводы и принимать решения. То есть велика вероятность субъективной оценки.

Второй вариант реализуется с помощью метода групповых экспертных оценок. При этом подходе важно выполнение основных требований к экспертам: высокий уровень компетентности, независимость и объективность их оценки. Что позволяет с высокой степенью достоверности напрямую оценить качество. Но это достаточно сложный и трудоемкий метод, требующий большого количества времени и специально подготовленной рабочей группы для его реализации. Еще необходимо заметить, что для достоверной оценки качества, учитывающей все особенности в конкретной предметной области, необходимо разработать отдельные методики проведения групповых экспертиз качества для каждой сферы деятельности.

Третий вариант использует данные статистики. Статистический подход основывается на множестве количественных и иногда качественных показателей оценки качества. Кроме того, как известно, данные статистики применяются при оценке вероятности события, то есть например, вероятность того что система (процесс) будет соответствовать установленным требованиям к уровню качества выполняемых функций в заданный период времени. Очевидно, что с точки зрения управления оценка ка-

чества процесса через оценку вероятности события представляет интерес и может быть дополнительной важной информацией при планировании и анализе сложных процессов. Например: вероятность того что должностное лицо примет оптимальное управленческое решение. Однако разработка методов расчета оценки качества через вероятность будет иметь зависимость от достоверности статистических данных за прошедший период времени и не учитывает изменение внешних условий, а полученные результаты все равно потребуют применения дополнительных показателей и методик оценки качества [6, С.122].

В рассматриваемой предметной области рационально использовать количественные показатели для оценки качества АСУ. Эти значения легко получить, используя статистические сведения, и в отличие от качественных показателей они в большей степени достоверны и менее зависимы от влияния разнообразных субъективных факторов.

В обобщенном виде оценка качества АСУ ( $Q$ ) будет включать в себя:

- степень достижения цели (выполнение требований в области качества) ( $K$ );
- расход ресурсов на достижение этого результата ( $R$ );
- затраты времени ( $T$ );
- учет условий и специфики функционирования АСУ, обязательных требований к изделиям и персоналу ( $D$ ).

$$Q = f(K, R, T, D) \quad (1)$$

Важным этапом деятельности ДЛ в сфере управления качеством является контроль.

По мнению И.Ф. Шишкина: «Контролем называется проверка соответствия норме. .... Наличие нормы предполагает градацию количественной характеристики любого свойства и обуславливает возможность принятия решения» [2, С. 3, 4].

Если обозначить  $Q_n$  как требуемое значение комплексного показателя качества АСУ, то есть норму. Тогда решение о соответствии или несоответствии АСУ норме принимается в следующих случаях:

$Q_p \geq Q_n$  — уровень качества АСУ соответствует требованиям;

$Q_p < Q_n$  — уровень качества АСУ не соответствует требованиям.

Отсюда можно сформулировать понятие проблемы в управлении качеством АСУ как несоответствие ( $\Delta Q$ ) между требуемыми значениями показателей качества ( $Q_n$ ) и реальными показателями качества ( $Q_p$ ) в заданный период времени:

$$\Delta Q = Q_p - Q_n \quad (2)$$

В идеале в любой период времени  $\Delta Q \geq 0$ , то есть проблем нет, качество соответствует требованиям.

Анализ значений показателей, составляющих формулы (1) и (2), позволит ДЛ выявить причины проблем и принять обоснованные управленческие решения в сфере управления качеством АСУ.

Выполнение предложенной последовательности действий ДЛ в сфере управления качеством в будущем обеспечит формирование резервов для повышения качества на организационном уровне по направлениям нижеприведенной классификации.

Б. И. Герасимов предлагает следующую классификацию резервов повышения качества:

1. Институциональные резервы — нормы, правила, стандарты, законы.
2. Бенчмаркинг-резервы — сравнение и ориентир на те организации, которые достигли наилучших результатов в работе по качеству.
3. Кайзен резервы — вовлечение каждого работника в работу по повышению качества продукции и услуг, что предусматривает немного инвестиций и большое число мелких шагов по улучшению качества.

4. Информационные резервы — включают в себя возможность получать и пользоваться точной, объективной, достоверной, надежной, доступной, защищенной, релевантной, своевременной, полной, интерпретируемой информацией.

5. Интеграционные резервы — формируются на пересечении полей первых четырех резервов (синергетический эффект) [4, С. 7].

В заключении следует отметить, что основным достоинством данных резервов повышения качества АСУ на организационном уровне это сравнительно небольшие затраты ресурсов и времени на достижение требуемого результата. Таким образом, разработка и применение методов управления качеством АСУ позволит значительно повысить качество выполнения задач управления в целом.

## ЛИТЕРАТУРА

1. **Аристов О.В.** Управление качеством: учеб. пособие для вузов / О. В. Аристов. М.: ИНФРА-М, 2006. 240 с.
2. **Шишкин И.Ф.** Контроль: Учеб. Пособие / И.Ф. Шишкин. СПб.: СЗПИ, 1992. 62 с.
3. **Шадрин А.Д.** Менеджмент на основе международных стандартов: учеб. пособие / А. Д. Шадрин. СПб.: Изд-во СЗТУ, 2008. 206 с.
4. Математические и инструментальные методы экономического анализа: управление качеством: Сб. науч. тр. / Под науч. ред. д-ра экон. наук, проф. Б.И. Герасимова. Тамб. гос. техн. ун-т. Тамбов, 2004. Вып. 13. 240 с. ISBN 5–8265–0127–8.
5. **Анфилатов В.С.** и др. Системный анализ в управлении: учеб. пособие / В.С. Анфилатов, А.А. Емельянов, А.А. Кукушкин; Под ред. А.А. Емельянова. М.: Финансы и статистика, 2002. 368 с: ил., ISBN 5–279–02435-Х.
6. **Биятдинов К.З.** Оценка качества управления метрологическим обеспечением / Инновационные системы планирования и управления в машиностроении. Сборник трудов II международной научно-практической конференции. Том II / Под ред. В.И. Пряхина, Гл. ред. И.В. Павлов. Отв. ред. Д.Ю. Тимофеев, Т.А. Менухова, А.В. Терентьев. СПб: Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», 2014, 205с. ISBN 978–5-4386–0318–4, С. 121–124.

*В.И. Бобровский*

доктор технических наук, доцент, ПАО «Интелтех»

*А.К. Скворцов*

ПАО «Интелтех»

## СНИЖЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СЛОЖНОСТИ АЛГОРИТМОВ МНОГОПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКОГО ДЕТЕКТИРОВАНИЯ

**АННОТАЦИЯ.** В статье показана возможность снижения вычислительной сложности алгоритмов многопользовательского детектирования (МПД) на основе комбинирования оптимальных и подоптимальных известных и вновь разработанных компенсационных структур, применяемых в компенсационных алгоритмах МПД. В качестве подоптимальных структур рассматриваются компенсационные структуры алгоритмов Агеева и Колмогорова [1, 2]. В качестве оптимальных структур рассматриваются компенсационные структуры алгоритмов, синтезированных по критериям минимума вероятности ошибки на символ пользователя и групповой символ [3, 4]. В статье приводятся формулы для расчета вероятностей ошибок и их вычислительной сложности. Представлен анализ потенциальной помехоустойчивости и вычислительной сложности комбинированных алгоритмов.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** Многопользовательское детектирование, оптимальное разделение сигналов, неортогональные сигналы, помехоустойчивость, декорреляция, компенсирующие структуры, алгоритм Агеева, алгоритм Колмогорова.

### Введение

Важной характеристикой алгоритмов МПД, определяющей их практическое применение, является зависимость их вычислительной сложности от числа детектируемых сигналов\*. В данной статье описывается метод синтеза алгоритмов МПД неортогональных двоичных сигналов, позволяющий повысить потенциальную помехоустойчивость алгоритмов МПД при ограничении на их вычислительную сложность на основе комбинирования «промежуточных» границ оценки информационных параметров (ГОИП) сигналов пользователей на произвольных шагах рекурсии при построении результирующей ГОИП.

\* Далее будет показано, что более общей характеристикой является зависимость вычислительной сложности алгоритмов МПД от позиционности группового сигнала. С учетом того, что известные алгоритмы МПД предполагают двоичные сигналы пользователей, в работе уместно говорить о зависимости вычислительной сложности от числа детектируемых двоичных сигналов.

### Снижение вычислительной сложности алгоритмов МПД

Фрактальный алгоритм МПД при формировании результирующей ГОИП производит построение всевозможных ГОИП меньших размерностей [4]. В результате перебор всех вариантов компенсирующих структур (КС) ансамбля сигналов  $\mathcal{X}^K$ , образованного путем аддитивного объединения  $K$  двоичных сигналов пользователей и помехи, обуславливает экспоненциальный характер фрактального алгоритма.

Уйти от полного перебора КС можно, используя ее рекурсивный характер, который позволяет на определенном шаге рекурсии  $v' = 1 \dots K$  использовать КС, отличные от оптимальных. В этом случае построение результирующей КС будет производиться без перебора всевозможных КС сигналов ансамблей меньшего объема. Подоптимальные КС, используемые вместо оптимальных, в целях снижения вычислительной сложности результирующей КС будем называть *усредняющими*. Таким образом, число шагов исходной рекурсивной формулы уменьшится на



$v'-1$ , тем самым число переборов оптимальных КС сократится. ГОИП, образованную путем усреднения оптимальных КС, назовем комбинированной и обозначим  $G_j^{(n)}[\mathfrak{R}^K]$ , где  $n$  — порядок усреднения. Под *порядком усреднения* будем понимать разность объема ансамбля двоичных сигналов и шага рекурсии, на котором используются усредняющие КС (УКС):

$$n = K - v' + 1, v' = 1 \dots K. \quad (1)$$

Из (1) следует, что  $n$  лежит в пределах от 1 до  $K$ . Таким образом, если УКС применяется на последнем,  $K$ -м, шаге рекурсии, комбинированная ГОИП будет иметь первый порядок, соответственно, если на первом, порядок будет  $K$ -й. Применение УКС  $K$ -го порядка теоретически возможно, однако не имеет смысла ввиду того, что в этом случае вычислительная сложность результирующей ГОИП не снижается.

Очевидно, чем меньше порядок усреднения, тем ближе друг к другу по форме оптимальная и усредняющая компенсирующие структуры, тем выше помехоустойчивость алгоритмов МПД, использующих усреднение КС. Таким образом, в качестве УКС лучше выбирать подоптимальные или близкие к ним КС. В общем случае в качестве УКС может служить КС любого компенсационного алгоритма МПД. Прежде всего, представляет интерес использование в качестве УКС КС популярных алгоритмов: Агеева (МПД с декорреляцией) и Колмогорова (МПД с минимальной среднеквадратической ошибкой (МСКО)) [1, 2]. Для этого необходимо представить их в компенсационном виде и выделить характерную для каждого алгоритма КС.

Компенсационный характер алгоритма Агеева показан в [3]. Аналогично можно представить в компенсационном виде алгоритм Колмогорова.

В соответствии с компенсационным принципом ГОИП алгоритмы Агеева и Колмогорова, соответственно, примут вид: (2) и (3):

$$g_{Ai} \triangleq \frac{-1}{c_{Aii}} \sum_{j=1(j \neq i)}^N c_{Aij} y_j, i = 1 \dots N, \quad (2a)$$

где

$$c_A = \begin{pmatrix} \sqrt{E_1} & 0 & 0 \\ 0 & \sqrt{E_2} & 0 \\ 0 & 0 & \sqrt{E_N} \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} 1 & \rho_{12} & \rho_{1N} \\ \rho_{12} & 1 & \rho_{2N} \\ \rho_{1N} & \rho_{2N} & 1 \end{pmatrix}^{-1}; \quad (2b)$$

$$g_{Ki} \triangleq \frac{-1}{c_{Kii}} \sum_{j=1(j \neq i)}^N c_{Kij} y_j, i = 1 \dots N, \quad (3a)$$

где

$$c_K = \left\{ \begin{pmatrix} 1 & \rho_{12} & \rho_{1N} \\ \rho_{12} & 1 & \rho_{2N} \\ \rho_{1N} & \rho_{2N} & 1 \end{pmatrix} + \frac{1}{2} \begin{pmatrix} h_1^2 & 0 & 0 \\ 0 & h_2^2 & 0 \\ 0 & 0 & h_N^2 \end{pmatrix}^{-1} \right\}^{-1}. \quad (3b)$$

Данные компенсирующие структуры являются подоптимальными, в связи с чем могут служить хорошими примерами УКС при построении комбинированных ГОИП.

Применение таким образом усредняющих КС будем называть *усреднением  $n$ -го порядка*. Очевидно, что при  $n = 0$  комбинированная ГОИП будет совпадать с УКС:  $G_j^K \triangleq g_{j \text{ уcp}}$ .

Общую запись комбинированной ГОИП при усреднении  $n$ -го порядка можно представить в виде [4]

$$G_j^{(v+1)} = \frac{1}{\sqrt{E_j}} \left( \sum_{i=1}^v k_j^v(\alpha_i) \sqrt{E_{\alpha_i}} y_{\alpha_i} - \sum_{i=1}^{v-1} \sum_{k=i+1}^v \mu_j^v(\alpha_i, \alpha_k) E_{\alpha_i \alpha_k} + \sum_{i=1}^v u_j^v(\alpha_i) E_{\alpha_i j} \right), \quad (4)$$

где  $v = K - n + 1 \dots K - 1$ ,  $n = 2 \dots K$ ,  $j$  — индекс  $s_j \in \mathfrak{R}^{v+1}$ ,  $i = 1 \dots v$ ,  $\alpha_i$  — индекс;  $s_{\alpha_i} \in \mathfrak{R}^v$ ;  $\alpha_i \neq j$ ,  $g_j^1 \equiv 0$ ; при  $v = K - n + 2 \dots K - 1$  коэффициенты  $k_j^v(\alpha_i)$ ,  $u_j^v(\alpha_i)$  и  $\mu_j^v(\alpha_i)$  в случае  $v = K - n + 1$  находятся в соответствии с выражениями

$$k_j^v(i) \triangleq \begin{cases} 0, & \mathbf{y}^v \in \tilde{\mathfrak{S}}_{\text{уcp}_j}^v, \tilde{\mathfrak{S}}_{\text{уcp}_j}^v, \\ \text{sign}(g'_{\text{уcp}_j}{}^v[\mathfrak{R}^v] - g''_{\text{уcp}_j}{}^v[\mathfrak{R}^v]), & \mathbf{y}^v \in \mathfrak{S}_{\text{уcp}_j}^v, \end{cases} \quad (5)$$

$$u_j^v(i) \triangleq \begin{cases} -1, & \mathbf{y}^v \in \tilde{\mathfrak{S}}_{\text{уcp}_j}^v, \\ 1, & \mathbf{y}^v \in \check{\mathfrak{S}}_{\text{уcp}_j}^v, \\ 0, & \mathbf{y}^v \in \mathfrak{S}_{\text{уcp}_j}^v, \end{cases} \quad (6)$$

где  $g'_{\text{уcp}_j}{}^v[\mathfrak{R}^v]$  и  $g''_{\text{уcp}_j}{}^v[\mathfrak{R}^v]$  — положительное и отрицательное смещение УКС  $g_{\text{уcp}_j}[\mathfrak{R}^v]$  соответственно по оси  $Oy_i$  пространства ансамбля  $\mathfrak{R}^v$ ;  $\tilde{\mathfrak{S}}_{\text{уcp}_j}^v$ ,  $\mathfrak{S}_{\text{уcp}_j}^v$ ,  $\check{\mathfrak{S}}_{\text{уcp}_j}^v$  — левая, средняя и правая области определения ГОИП соответственно  $g_j[\mathfrak{R}^{v+1}]$ , образованные положительным и отрицательным смещением УКС  $g_{\text{уcp}_j}[\mathfrak{R}^v]$  в пространстве ансамбля  $\mathfrak{R}^v$ .

Следует отметить, что шаг усреднения для КС разных сигналов ансамблей различного объема может различаться. Так, при построении результирующей ГОИП детектируемого сигнала, усреднение  $K$ -го порядка может производиться для числа КС от 1 до  $K-1$  (или  $A_{K-1}^1/0!$ ), усреднение порядка  $K-1$  — для числа КС от 1 до  $A_{K-1}^2/1!$ , усреднение порядка  $K-2$  — для числа сигналов от 1 до  $A_{K-1}^3/2!$ , и т. д., усреднение 2-го порядка — для числа сигналов от 1 до  $A_{K-1}^{K-1}/(K-2)!$  (или  $K-1$ ), и, наконец, может быть только одно усреднение 1-го порядка. В общем случае усреднение  $n$ -го (для  $n = 2...K$ ) порядка может производиться для числа сигналов от 1 до  $A_{K-1}^{K-n+1}/(K-n)!$ , где  $A_m^n$  — число размещений из  $m$  по  $n$ . Как выше отмечалось, усреднение первого порядка может быть только одно. Наличие факториала в знаменателе объясняется тем, что порядок аргументов при построении ГОИП не важен.

Порядки усреднения для КС разных сигналов можно также комбинировать. Данное обстоятельство служит хорошим средством для «плавного» регулирования вычислительной сложности ГОИП детектируемых сигналов.

Рассчитаем асимптотическую вычислительную сложность КС (4).

Под вычислительной сложностью будем понимать число элементарных операций  $N_\Sigma = N_\times + N_+$ : умножений и сложений, требуемых для вычисления КС. Выполнение условия в условном операторе также будем рассматривать как элементарную операцию.

Простоты ради, остановимся на случае, не предусматривающем комбинирование УКС сигналов в одном шаге рекурсии.

Учитывая, что УКС выбраны КС Агеева и Колмогорова, определим их асимптотическую вычислительную сложность (АВС).

С учетом особенностей линейного МПД АВС алгоритмов Агеева или Колмогорова можно представить в следующем виде:

$$АВС_{\text{лини1}}(K) = O(N_\times(K) + N_+(K)), \quad (7a)$$

где

$$N_\times(K) = 2 N_{\text{обр}}(K) + Hol_\times(K) + K + 1; \quad (7б)$$

$$N_+(K) = Hol_+(K) + K - 1 - \quad (7в)$$

число умножений и сложений соответственно, необходимое для расчета ГОИП детектируемого сигнала;

$$Hol_\times(K) = \sum_{i=1}^K [(K-i)(i-1) + (i-1) + 1]; \quad (7г)$$

$$Hol_+(K) = \sum_{i=1}^K [(K-i)(i-1) + (i-1)] - \quad (7д)$$

количество операций, требуемое для вычисления двух треугольных матриц из исходной матрицы Грама по алгоритму преобразования Холецкого;

$$N_{\text{обр}}(K) = 0,5 (K^3 - K^2 + 2K) - \quad (7е)$$

количество операций для взятия обратной треугольной матрицы.

С учетом свойств  $O$  после выполнения необходимых операций по упрощению (7) примет вид

$$АВС_{\text{лини1}}(K) = O(K^3). \quad (8)$$

Очевидно, что АВС детектирования всех сигналов, поступающих на вход приемного устройства,

$$АВС_{\text{лини}}(K) = O(K^4). \quad (9)$$

Далее пусть  $N_{\text{уср}}^{K-n+1}$  — количество операций, необходимое для вычисления УКС при усреднении  $n$ -го порядка ансамбля объема  $K$ . Количество УКС с вычислительной сложностью  $N_{\text{уср}}^{K-n+1}$  определяется, как для фрактальных ГОИП на  $v(n)$ -м шаге ( $v(n) = K-n+1$ ) рекурсии:  $\frac{A_K^{v(n)}}{(v(n)-1)!}, n = 1...K$ .

Таким образом, асимптотическая сложность вычисления всех УКС  $n$ -го порядка  $\{g_{\text{уср}_j}^{N-n+1}, j = 1... N-n+1\}$  равна

$$АВС_{\text{уср}}(K) = O\left(\frac{A_K^{v(n)}}{(v(n)-1)!} N_{\text{уср}}^{N-n+1}\right), \quad n = 1...K. \quad (10)$$

Количество рекурсий уменьшится на  $K-n$ . Следовательно, при подсчете асимптотической вычислительной сложности рекурсивных операций суммирование в (4) должно начинаться с  $i = N-n+1$ . На  $v$ -м шаге рекурсии, как ранее отмечалось, АВС расчета одной «промежуточной» КС равна  $C_{v-1}^2$ . Следовательно, АВС расчета «промежуточных» КС

$$АВС_{\text{пром}}(K) = O\left(\sum_{i=K-n+2}^K \frac{A_K^i}{(i-1)!} C_{i-1}^2\right), \quad n = 2...K. \quad (11)$$

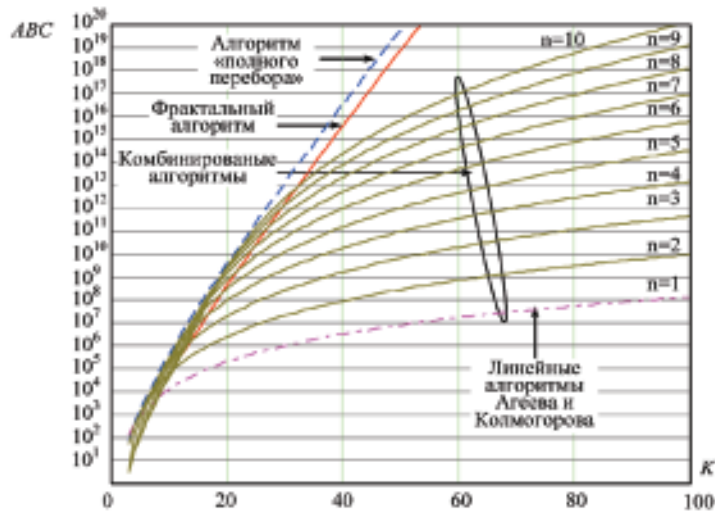


Рис. 1. Графики зависимости асимптотической вычислительной сложности алгоритмов МПД

Порядок усреднения в (11)  $n \neq 1$  объясняется тем, что при  $n = 1$  результирующая комбинированная ГОИП совпадает с УКС.

Соединив (10) с (11), получим ABC результирующей комбинированной ГОИП, определенной выше (4):

$$ABC_{\text{комб}}(K) = O\left(\sum_{i=K-n+2}^K \frac{A_K^i}{(i-1)!} C_{i-1}^2 + \frac{A_K^{K-n+1}}{(K-n)!} N_{\text{уср}}^{N-n+1}\right),$$

$$n = 2 \dots K, (12)$$

где  $A_m^n$  — количество размещений из  $m$  по  $n$ .

При  $n = 1$   $ABC_{\text{комб}}(K) = ABC_{\text{уср}}(K)$  и определяется по (10).

На рис. 1 представлены графики зависимости асимптотической сложности вычисления ГОИП всех детектируемых сигналов для традиционного алгоритма, оптимального по критерию  $\min P_e$ , МПД «полного перебора», фрактального алгоритма [4] и комбинированных алгоритмов с порядками усреднения  $n = 1 \dots 10$ , в соответствии с (12).

Как видно из рисунка, асимптотическая сложность вычисления ГОИП при комбинировании КС, выраженная (12), в отличие от фрактального алгоритма [4], не является экспоненциальной. Вычислительная сложность комбинированной ГОИП меняется в зависимости от порядка усреднения  $n$ . При маленьких порядках усреднения ее можно считать полиномиальной. При  $n = 1$  результирующая комбини-

рованная ГОИП полностью совпадает с усредняющей компенсирующей структурой. В случае увеличения порядка усреднения до значений, близких к объему пространства сигналов  $K$ , асимптотическая сложность приобретает экспоненциальный характер.

На рис. иллюстрируется случай, когда усреднение применяется ко всем «промежуточным» КС сигналов на одном шаге рекурсии, являющихся подмножеством ансамбля сигналов, поступающих на вход приемного устройства. Вследствие этого ABC комбинированных алгоритмов при фиксированном  $K$  с изменением порядка усреднения изменится скачками определенной величины (см. рис. 1).

Упомянутые скачки можно достаточно хорошо «сгладить» в случае дифференцированного применения УКС на одном шаге рекурсии, т. е. усреднять не все «промежуточные» КС, а некоторую их часть. Очевидно, данная особенность увеличивает гибкость комбинированных алгоритмов МПД.

### Заключение

Таким образом, асимптотическая вычислительная сложность компенсационных алгоритмов МПД, использующих в качестве ГОИП комбинированные компенсирующие структуры с порядком усреднения  $n$ , лежит в пределах, определяемых вычислительной сложностью известных оптимальных и подоптимальных алгоритмов МПД [5–7] и определяется введенным и описанным выше порядком усреднения.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Агеев Д.В.** Основы теории линейной селекции// Научно-технический сборник. Л.: ЛЭИС, 1935. №10. С.8–28.
2. **Колмогоров А.Н.** Интерполирование и экстраполирование стационарных случайных последовательностей // Изв. АН СССРБ. Сер. Матем. 1941. №5.
3. **Бураченко Д.Л.** Оптимальное разделение цифровых сигналов многих пользователей в линиях и сетях связи в условиях помех. Л.: ВАС, 1990. 302с.
4. **Бобровский В.И.** Метод построения фрактальных алгоритмов МПД. Отчет о НИР шифр «Балхаш — ВУС»: «Изыскание инженерно-технических путей распределения информационных потоков в реальном масштабе времени на стационарных УС с обеспечением защиты информации в части существующих стационарных УС». СПб.: ВУС, 2005. С. 89–103.
5. **Прокис Дж.** Цифровая связь/ Под ред. Д.Д. Кловского. М.: Радио и связь, 2000. 800с.
6. **Verdu S.** Multiuser Detection. Cambridge university Press, 1998.
7. **Бобровский В.И.** Увеличение потенциальных возможностей многопользовательского детектирования на основе компенсационных алгоритмов // Мобильные системы. 2004. №3. С. 21–24.

*В.И. Бобровский*

доктор технических наук, доцент, ПАО «Интелтех»

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ МОДИФИКАЦИИ СИГНАЛЬНОЙ КОНСТРУКЦИИ КАМ-16

**АННОТАЦИЯ.** В работе получены формулы вероятности ошибки на бит, приведены результаты анализа потенциальной помехоустойчивости приема модифицированной сигнальной конструкции (СК) шестнадцатипозиционной квадратурной амплитудной манипуляции (КАМ-16) и традиционной СК КАМ-16 в канале с постоянными параметрами и белым шумом. Модификация традиционной СК КАМ-16, рассмотренная в [1], выполнена на основе оптимизации расположения сигнальных точек по критерию минимальной ошибки на групповой символ —  $\min P_e$ . Модифицированная таким образом СК КАМ-16 названной «круглой» КАМ-16.

В работе показано, что модификация на основе оптимизации сигнальной конструкции КАМ-16 способствует повышению потенциальной помехоустойчивости ее приема.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** вероятность ошибки, помехоустойчивый прием, сигнальная конструкция, КАМ-16, границы принятия решения, области принятия решения.

Как указывалось в [1,2], несущая первого  $s_1(r_1, t)$  и второго  $s_2(r_1, r_2, t)$  двоичных сигналов (синфазная  $\vec{u}_{исх}^I$  и квадратурная  $\vec{u}_{исх}^Q$  составляющие), которыми представлена КАМ-16, одинаковые по форме и различаются лишь по мощности в четыре раза. Несущие двоичных сигналов  $s_3(r_3, t)$  и  $s_4(r_3, r_4, t)$  также линейно зависимые и различаются по мощности в четыре раза. В силу ортонормальности базисных функций  $\psi_1(t)$  и  $\psi_2(t)$  первый и третий двоичные сигналы ортогональны второму и четвертому, следовательно их помехоустойчивость идентична помехоустойчивости первого и второго битов. Поэтому в работе представлен расчет вероятности ошибки в первом и третьем бите и средней вероятности ошибки на бит приема СК КАМ-16 в соответствии с  $\min P_e$ .

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 [2].

Точками на рис. 1 показаны положения сигнальных точек исходной КАМ конструкции. Пунктирными окружностями на рис. 1 обозначены положения сигнальных точек КАМ конструкции, формируемой в соответствии с пред-

лагаемым способом. Сигнальные конструкции с манипуляционным кодом Грея, как известно, отличаются повышенной помехоустойчивостью относительно конструкций при натуральном манипуляционном кодировании. В связи с этим для данной КАМ также использовался манипуляционный код Грея. На рис. 1 возле каждой сигнальной точки показан ее манипуляционный код, представленный в двоичной системе

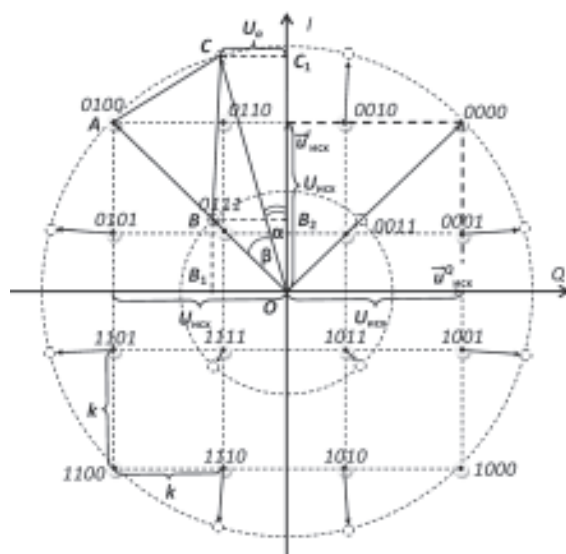


Рис. 1. Расположение сигнальных точек традиционной и «круглой» КАМ-16



счисления, причем порядок следования битов слева направо соответствует номерам информационных битов, манипулирующих синфазную  $\bar{u}_{исх}^{-I}$  и квадратурную  $\bar{u}_{исх}^{-Q}$  составляющие, т. е. первый бит слева является первым информационным битом, второй — вторым информационным битом и т. д.. 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.

Эффективность применения сигнальной конструкции «круглой» КАМ-16 будем оценивать помехоустойчивостью в канале с постоянными параметрами и белым шумом в сравнении с помехоустойчивостью приема традиционной КАМ-16.

Из [2] известно, что зависимость вероятности ошибки  $P_i[ош]$  ( $i = 1, 3$ ) от среднего на бит отношения сигнал/шум  $h^2_{bc}$ , в АОП по критерию  $min P_e$  при МК Грея выражается формулами:

$$P_1[ош] = 0.5 \cdot Fc\left(\sqrt{0.8 \cdot h^2_{bc}}\right) + 0.5 \cdot Fc\left(3 \cdot \sqrt{0.8 \cdot h^2_{bc}}\right); \quad (1)$$

$$P_3[ош] = Fc\left(\sqrt{0.8 \cdot h^2_{bc}}\right) +$$

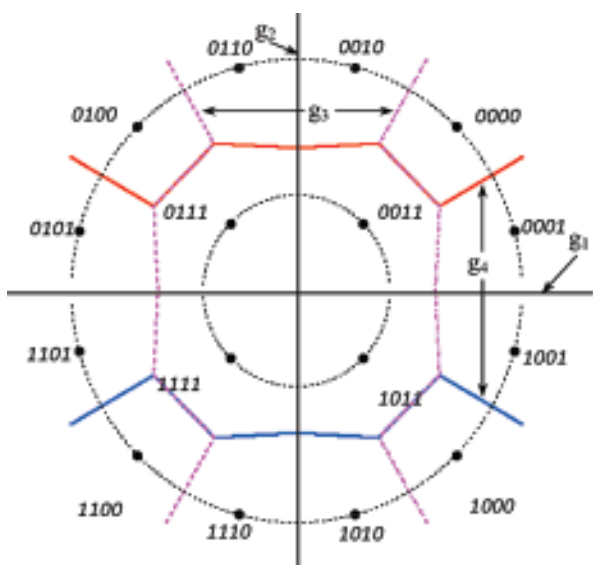


Рис. 2. Границы областей принятия решения «круглой» КАМ-16

$$+ 0.5 Fc\left(3 \cdot \sqrt{0.8 \cdot h^2_{bc}}\right) - 0.5 Fc\left(5 \cdot \sqrt{0.8 \cdot h^2_{bc}}\right); \quad (2)$$

$$P_{cp}[ош] = 0.5 P_1[ош] + 0.5 P_2[ош]. \quad (3)$$

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

$$\mathbf{r}^* = \text{rect} \{ \mathbf{y} - \mathbf{g} \}, \quad (4)$$

где

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

функция принятия решения, (5)

$\mathbf{r}^* \triangleq (r_1, r_2, \dots, r_K)^T$  — 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 ГОИП;

$\mathbf{y} \triangleq (y_1, y_2, \dots, y_K)^T$  — вектор откликов корреляторов (вектор наблюдений),

где  $y_i \triangleq (\mathbf{y}, \hat{\mathbf{s}}_i)$ ;  $\hat{\mathbf{s}}_i = (\sqrt{E_i})^{-1} \mathbf{s}_i$ ,  $i = 1..K$  — нормированный  $i$ -й двоичный цифровой сигнал.

Как следует из формального представления в компенсационном виде алгоритма МПД, основной задачей является формирование вектора ГОИП  $\mathbf{g}$  [4]. Очевидно, что границы, разделяющие области принятия решения по первому и второму битам, лежат на осях, соответствующих синфазной  $\bar{u}_{исх}^{-I}$  и квадратурной  $\bar{u}_{исх}^{-Q}$  составляющим (см. рис.2). Границы, разделяющие области принятия решения по третьему и четвертому битам, как видно из рис. 2, представляют собой линейно-ломанные линии.

Зависимость вероятности ошибки при приеме первого бита  $P_1[ош]$  от среднего на бит отношения сигнал/шум  $h^2_{bc}$  при приеме «круглой» КАМ-16 выражается следующим образом:

$$P_1[ош] = 0.25 \left( Fc\left(\sqrt{h^2_{bc}}\right) +$$

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

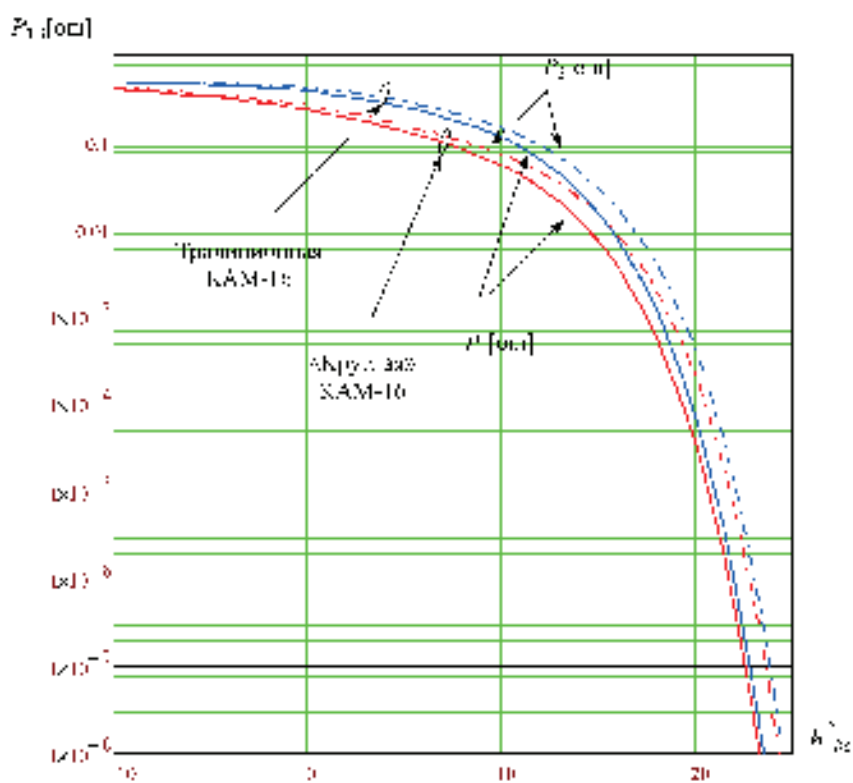


Рис. 3. Графики зависимости вероятности ошибки при приеме первого и третьего битов  $P_1$  [ош] от среднего отношения сигнал/шум  $h^2_{bc}$  при приеме традиционной и «круглой» КАМ-16

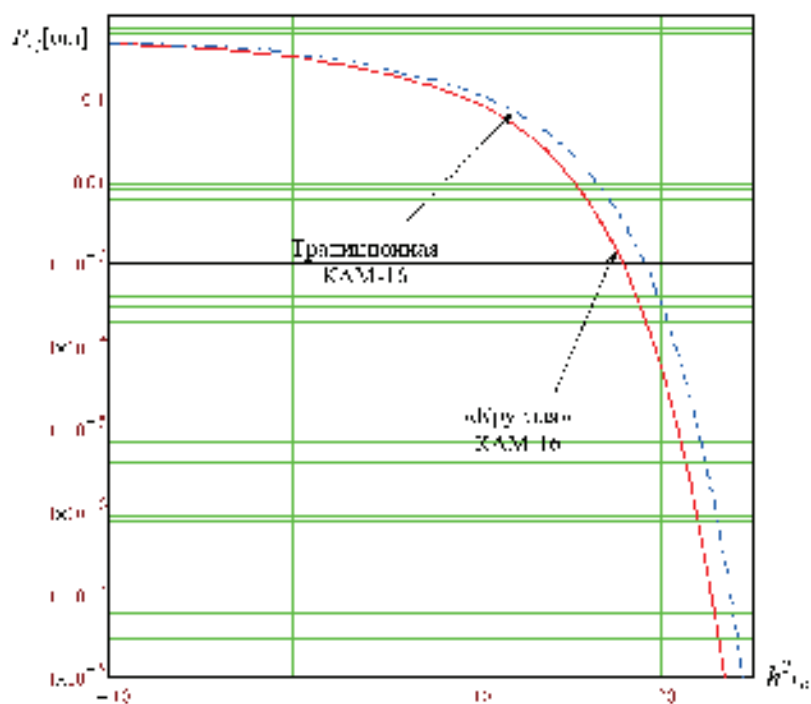


Рис. 4. Графики зависимости средней вероятности ошибки от среднего отношения сигнал/шум  $h^2_{bc}$  при приеме традиционной и «круглой» КАМ-16

$$+Fc\left(\sqrt{ah^2_{bc}}\right)+Fc\left(\sqrt{bh^2_{bc}}\right)+Fc\left(\sqrt{ch^2_{bc}}\right), \quad (6)$$

где  $a, b$  и  $c$  — некоторые коэффициенты, определенные в [1]:

$$a = \sqrt{1 + \frac{3}{2}} \approx 1.36603; \quad (7)$$

$$c = \frac{1}{1 + \sqrt{2}} \approx 0,41421; \quad (8)$$

$$b = \sqrt{2 - a^2} = \sqrt{1 - \frac{\sqrt{3}}{2}} \approx 0.36603. \quad (9)$$

Зависимость вероятности ошибки при приеме третьего бита  $P_3[\text{ош}]$  от среднего на бит отношения сигнал/шум  $h^2_{bc}$  при приеме «круглой» КАМ-16 для различных состояний  $r$  выражается формулами:

$$P_3[\text{ош} / r = 0000] = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \times \int_{-\infty}^{\infty} e^{-\frac{t^2}{2}} \cdot \left( \begin{array}{l} Fc\left(\sqrt{h^2_{bc}} - g\left(t + \sqrt{h^2_{bc}}\right)\right) - \\ -Fc\left(\sqrt{h^2_{bc}} + g\left(t + \sqrt{h^2_{bc}}\right)\right) \end{array} \right) dt. \quad (10)$$

$$P_3[\text{ош} / r = 0001] = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \times \int_{-\infty}^{\infty} e^{-\frac{t^2}{2}} \cdot \left( \begin{array}{l} Fc\left(\sqrt{ah^2_{bc}} - g\left(t + \sqrt{bh^2_{bc}}\right)\right) - \\ -Fc\left(\sqrt{ah^2_{bc}} + g\left(t + \sqrt{ah^2_{bc}}\right)\right) \end{array} \right) dt. \quad (11)$$

$$P_3[\text{ош} / r = 0010] = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \times \int_{-\infty}^{\infty} e^{-\frac{t^2}{2}} \cdot \left( \begin{array}{l} Fc\left(\sqrt{ch^2_{bc}} - g\left(t + \sqrt{ch^2_{bc}}\right)\right) + \\ +Fc\left(\sqrt{ch^2_{bc}} + g\left(t + \sqrt{ch^2_{bc}}\right)\right) \end{array} \right) dt. \quad (12)$$

$$P_3[\text{ош} / r = 0011] = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \times$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} e^{-\frac{t^2}{2}} \cdot \left( \begin{array}{l} Fc\left(\sqrt{ah^2_{bc}} - g\left(t + \sqrt{bh^2_{bc}}\right)\right) + \\ +Fc\left(\sqrt{ah^2_{bc}} + g\left(t + \sqrt{ah^2_{bc}}\right)\right) \end{array} \right) dt. \quad (13)$$

Средняя вероятность ошибки при приеме третьего бита  $P_3[\text{ош}]$  от среднего на бит отношения сигнал/шум  $h^2_{bc}$  примет вид:

$$P_3[\text{ош}] = \frac{1}{4} \left( P_3[\text{ош} / r = 0000] + P_3[\text{ош} / r = 0001] + P_3[\text{ош} / r = 0010] + P_3[\text{ош} / r = 0011] \right). \quad (14)$$

На рис. 3 представлены графики зависимости вероятности ошибки при приеме первого и третьего битов  $P_1[\text{ош}]$  от среднего отношения сигнал/шум  $h^2_{bc}$  при приеме традиционной и «круглой» КАМ-16.

На рис. 4 представлены графики зависимости средней вероятности ошибки на бит от среднего отношения сигнал/шум  $h^2_{bc}$  при приеме традиционной и «круглой» КАМ-16.

Анализ данных графиков показывает, что в равных условиях в канале с постоянными параметрами и белым шумом наблюдается выигрыш в энергетике при приеме «круглой» КАМ-16 по сравнению с традиционной более, чем  $\Delta h^2_b = 1,2$  дБ.

### Заключение

Т. о. оптимизированная шестнадцатипозиционная сигнальная конструкция на основе квадратурной амплитудной манипуляции в соответствии с критерием оптимальности минимум вероятности ошибки на групповой символ позволяет повысить помехоустойчивость относительно традиционной шестнадцатипозиционной сигнальной конструкций с квадратурной амплитудной манипуляцией при этом запас мощности для достижения вероятности ошибки  $10^{-5}$  составляет приблизительно 2 дБ.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

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

*В.В. Браништи*

ФГБОУ «Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева»

## ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА МОМЕНТОВ ДЛЯ ОЦЕНИВАНИЯ ФУНКЦИИ ПЛОТНОСТИ ВЕРОЯТНОСТИ В ВИДЕ ОРТОГОНАЛЬНОГО РЯДА

**АННОТАЦИЯ.** В работе рассматривается задача восстановления плотности вероятности непрерывной случайной величины в виде ряда ортонормированных функций. Исследуется применение метода моментов для статистического оценивания коэффициентов ряда. Найдены выражения для математических ожиданий и ковариационной матрицы оценок. Показано, что на качество оценивания влияют как коэффициенты ряда, так и число взятых слагаемых. Предлагается построение критерия для оценивания оптимального числа слагаемых, не использующего вид истинной плотности вероятности. Получены результаты предложенного подхода при восстановлении некоторых модельных распределений.

### Введение

Задача оценивания неизвестной функции плотности вероятности уже долгое время является важной научно-технической задачей. От качества получаемых оценок плотности вероятности зависит качество основанных на ней алгоритмов управления, классификации, распознавания образов, восстановления зависимостей и др. Классический подход к оцениванию состоит в том, что подбирается модельный закон, который наилучшим образом описывает данную выборочную совокупность [1]. Однако в этом случае качество оценок существенно ухудшается при сложной структуре закона распределения случайной величины, например, если функция плотности многоэкстремальна, разрывна и т. п.

При отсутствии априорной информации о виде закона распределения используются непараметрические оценки функции плотности вероятности. Наиболее распространены ядерные оценки, основанные на работах Розенблатта [2] и Парзена [3], а также оценки в виде ряда ортонормированных функций, называемые проекционными оценками [4]. В последнем случае предполагается, что истинная плотность  $f(x)$  принадлежит функциональному гильбертову пространству  $L_2$  [5]. Оценка плотности вероятности случайной величины  $\xi$  при этом имеет вид:

$$\hat{f}_N(x) = a_0\varphi_0(x) + \dots + a_N\varphi_N(x), \quad (1)$$

где  $\{\varphi_i\}_{i=0}^{\infty}$  — полная система ортонормированных функций (базис) пространства  $L_2$ ,  $a_i$  — коэффициенты, оцениваемые по выборке случайной величины  $\xi$ . Базис  $\{\varphi_i\}_{i=0}^{\infty}$  выбирается исходя из имеющейся информации об исследуемом распределении. Если известно, что значения случайной величины  $\xi$  не выходят за пределы некоторой области, то линейным преобразованием строят случайную величину  $\xi_1$ , принимающую значения из некоторой «стандартной» области и используют систему функций, ортонормированных на соответствующем промежутке. Если информация об области возможных значений случайной величины  $\xi$  полностью отсутствует, то используется система, ортонормированная на всей числовой прямой (см. табл. 1).

### Применение метода моментов

В настоящей работе для построения оценок коэффициентов  $a_i$  используется метод моментов, являющийся распространенным методом статистического оценивания параметров закона распределения [6]. Рассчитаем  $(N + 1)$  выборочных начальных моментов, полученных по независимой выборке  $x_1, \dots, x_n$  исследуемой случайной величины, и приравняем их к соответствующим теоретическим моментам,



Таблица 1

**Выбор системы ортонормированных функций в зависимости от информации о распределении**

Информация о распределении	Преобразование	Приведенная случайная величина	Ортонормированная система
$\xi \in [a; b]$	$\xi_1 = 2 \frac{\xi - a}{b - a} - 1$	$\xi_1 \in [-1; 1]$	Лежандра, Чебышева, тригонометрическая
$\xi \geq c$	$\xi_1 = \xi - c$	$\xi_1 \in [0; +\infty)$	Лагерра
$\xi \leq c$	$\xi_1 = -\xi - c$		
$\xi \in (-\infty; +\infty)$	—	—	Эрмита

рассчитанным с использованием оценки (1) как функции плотности вероятности:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} x^j \widehat{f}_N(x) dx = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^j, \quad j = 0, \dots, N.$$

Подставляя вместо оценки  $\widehat{f}_N(x)$  ее выражение (1), получим систему из  $(N + 1)$  линейных уравнений с  $(N + 1)$  неизвестными:

$$\begin{cases} a_0(1, \varphi_0) + a_1(1, \varphi_1) + \dots + a_N(1, \varphi_N) = 1 \\ a_0(x, \varphi_0) + a_1(x, \varphi_1) + \dots + a_N(x, \varphi_N) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \\ \vdots \\ a_0(x^N, \varphi_0) + a_1(x^N, \varphi_1) + \dots + a_N(x^N, \varphi_N) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^N \end{cases} \quad (2)$$

где  $(x^i, \varphi_j) = \int_{-\infty}^{+\infty} x^i \varphi_j(x) dx$  — скалярное произведение в пространстве  $L_2$ . Введя матричные обозначения:

$$B = \left\{ (x^i, \varphi_j) \right\}_{i,j=0}^N, \quad a = (a_0, \dots, a_N)^T, \\ \widehat{v} = (1, \dots, \widehat{v}_N)^T,$$

систему (2) можно переписать в виде

$$Ba = \widehat{v}. \quad (2')$$

Эта система имеет единственное решение, если  $|B| \neq 0$ . Теоретический анализ показывает, что для основных используемых ортонормированных систем (см. табл. 1) это неравенство вы-

полнено для любого  $N \geq 0$ . Тогда решение системы (2') может быть записано в виде:

$$a = B^{-1} \widehat{v}. \quad (3)$$

Найдем математические ожидания  $M\{a\}$  и ковариационную матрицу  $\Sigma\{a\}$  полученных оценок.

$$M\{a\} = M\{B^{-1} \widehat{v}\} = B^{-1} M\{\widehat{v}\} = B^{-1} v, \quad (4)$$

где  $v$  — столбец начальных моментов случайной величины  $\xi$ :

$$v = (1, M\{\xi\}, \dots, M\{\xi^N\}).$$

$$\begin{aligned} \Sigma\{a\} &= M\{aa^T\} - M\{a\} M^T\{a\} = \\ &= B^{-1} \Sigma\{\widehat{v}\} (B^{-1})^T = \frac{1}{n} B^{-1} \Sigma_{\xi} (B^{-1})^T, \end{aligned} \quad (5)$$

где  $\Sigma_{\xi} = \left\{ \text{cov}\{\xi^i, \xi^j\} \right\}_{i,j=0}^N$  — ковариационная матрица степеней случайной величины  $\xi$ .

Дисперсии оценок  $D\{a_j\}$ , очевидно, являются диагональными элементами ковариационной матрицы (5).

### Настройка параметра $N$

Таким образом, для любого фиксированного  $N$  с помощью метода моментов построены оценки коэффициентов для функции плотности вероятности. Однако, как показывают расчеты, параметр  $N$  также существенно влияет на качество оценивания. Качество оценки функции

плотности вероятности характеризуется усредненным квадратичным критерием:

$$Q\{\hat{f}\} = M\left\{\|\hat{f} - f\|^2\right\}. \quad (6)$$

В случае, если используется проекционная оценка (1), то критерий (6) преобразуется к виду (см. [7]):

$$Q\{\hat{f}_N\} = \|f - f_N\|^2 + \sum_{j=0}^N (\alpha_j - M\{a_j\})^2 + \sum_{j=0}^N D\{a_j\}, \quad (7)$$

где  $\alpha_j$  — оптимальные коэффициенты:

$$\alpha_j = (f, \varphi_j) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(x)\varphi_j(x)dx,$$

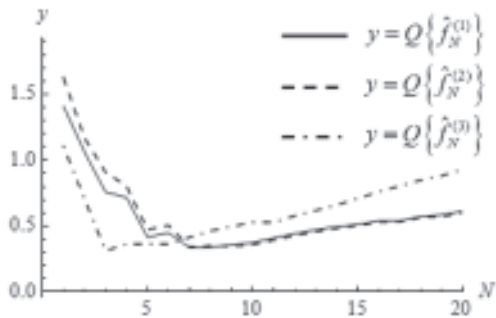
$f_N$  — оценка функции плотности вероятности, полученная с использованием оптимальных коэффициентов:

$$f_N(x) = \alpha_0\varphi_0(x) + \dots + \alpha_N\varphi_N(x).$$

Используя выражение (7), а также формулы (4) и (5), рассчитаем значение  $Q$  для разных  $N$  при восстановлении различных законов распределения случайной величины. На рис. 1 показаны результаты восстановления равномерного и треугольного законов распределения с плотностями вероятностей, соответственно:

$$f_1(x) = \begin{cases} 2, & x \in \left[0, \frac{1}{2}\right], \\ 0, & \text{иначе} \end{cases}$$

$$f_2(x) = \begin{cases} 1 - |x|, & x \in [-1, 1] \\ 0, & \text{иначе} \end{cases}.$$



Через  $\hat{f}_N^{(1)}$ ,  $\hat{f}_N^{(2)}$  и  $\hat{f}_N^{(3)}$  обозначены проекционные оценки, построенные с использованием ортонормированной системы Лежандра, Чебышева и тригонометрической, соответственно.

Из рисунков видно, что качество оценивания  $f(x)$  существенно зависит от выбора значения  $N$ . Однако оптимизация критерия (6) непосредственно по параметру  $N$  оказывается неосуществимой на практике, так как в нем используется вид истинной плотности вероятности, которая в данной постановке задачи считается неизвестной. В связи с этим предлагается построение критерия для оценки  $N$ , не использующего вид истинной плотности вероятности, распространив подход, предложенный в [8], на случай оценивания коэффициентов  $a_i$  по методу моментов.

В ходе исследования был построен критерий

$$\hat{W}_N = \text{tr } B^{-1} \hat{M}_{x,x} (B^{-1})^T - 2 \text{tr } B^{-1} \hat{M}_{x,\varphi}, \quad (8)$$

где

$$\hat{M}_{x,x} = \begin{pmatrix} \frac{1}{n^2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n x_i^0 x_j^0 & \dots & \frac{1}{n^2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n x_i^0 x_j^N \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{1}{n^2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n x_i^N x_j^0 & \dots & \frac{1}{n^2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n x_i^N x_j^N \end{pmatrix},$$

$$\hat{M}_{x,\varphi} = \begin{pmatrix} \frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n \sum_{j \neq i}^n x_i^0 \varphi_0(x_j) & \dots & \frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n \sum_{j \neq i}^n x_i^0 \varphi_N(x_j) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n \sum_{j \neq i}^n x_i^N \varphi_0(x_j) & \dots & \frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n \sum_{j \neq i}^n x_i^N \varphi_N(x_j) \end{pmatrix}.$$

Выражение для  $\hat{W}_N$  не использует вид истинной плотности вероятности. Оценка  $\hat{N}$  получается минимизацией значения  $\hat{W}_N$  по  $N$ :

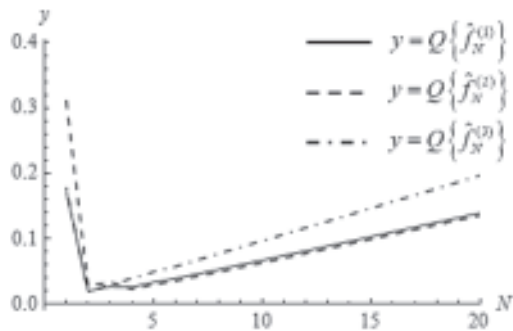


Рис. 1. Зависимость качества оценки плотности вероятности от параметра  $N$  при восстановлении равномерного (слева) и треугольного (справа) законов распределения

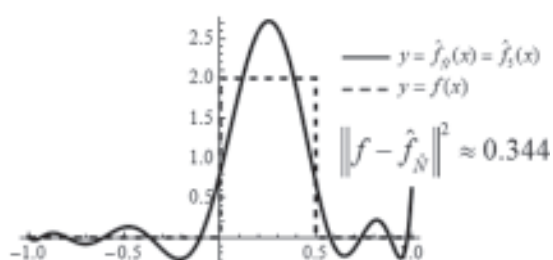


Рис. 2. Восстановление равномерного закона распределения с помощью проекционной оценки функции плотности вероятности

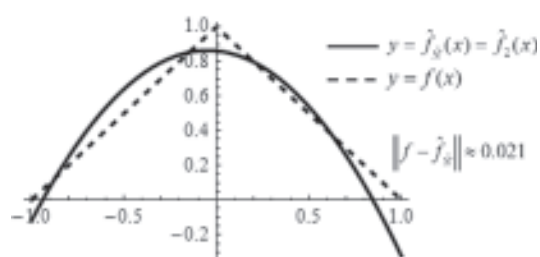


Рис. 3. Восстановление треугольного закона распределения с помощью проекционной оценки функции плотности вероятности

$$\hat{N} = \arg \min_N \hat{W}_N. \quad (9)$$

Результаты восстановления функции плотности вероятности с параметром  $N$ , настроенным по формуле (9) по случайной независимой выборке объема  $n = 10$ , показаны на рис. 2 и 3. В первом случае равномерный закон восстанавливается с использованием ортонормированной тригонометрической системы, во втором — треугольный закон с использованием системы Лежандра. На графиках для полученных оценок указано значение  $\|f - \hat{f}_N\|^2$ , характеризующее близость оценки к истинной плотности вероятности.

### Заключение

В ходе исследования была рассмотрена возможность применения метода моментов для

оценивании коэффициентов при восстановлении функции плотности вероятности в виде линейной комбинации ортонормированных функций. Построенный критерий для оценивания числа слагаемых оценки плотности вероятности позволяет эффективно настраивать вид оценки без использования информации о виде закона распределения, что позволяет строить оценку функции плотности вероятности, располагая лишь выборкой значений случайной величины. Данный подход применим в широком классе случаев, так как восстанавливаемая плотность может быть недифференцируемой, разрывной, многоэкстремальной. Результаты данной работы могут быть использованы для решения задач теории управления, построения алгоритмов проверки статистических гипотез, классификации, восстановления зависимостей.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кобзарь А. И. Прикладная математическая статистика: для инженеров и научных работников / А. И. Кобзарь. — М.: Физматлит, 2006. — 816 с.
2. Rosenblatt M. Remarks on some nonparametric estimates of a density function // The Annals of Mathematical Statistics. — 1956. — Vol. 27, 3. — Pp. 832–837.
3. Parzen E. On estimation of a probability density function and mode // The Annals of Mathematical Statistics. — 1962. — Vol. 35, 3. — Pp. 1065–1076.
4. Ченцов Н. Н. Статистические решающие правила и оптимальные выводы / Н. Н. Ченцов. — М.: Физматлит, 1972. — 520 с.
5. Колмогоров А. Н., Фомин С. В. Элементы теории функций и функционального анализа / А. Н. Колмогоров, С. В. Фомин. — 6-е изд., испр. — М.: Наука, 1989. — 624 с.
6. Крамер Г. Математические методы статистики / Г. Крамер, под ред. А. Н. Колмогорова. — 2-е изд., стер. — М.: Мир, 1975. — 648 с.
7. Новоселов А. А. Об оптимальном выборе структуры функции плотности вероятности и регрессии: препринт / А. А. Новоселов. — Красноярск: ВЦ СО АН СССР, 1979. — 31 с.
8. Браништи В. В. О параметрическом оценивании функции плотности вероятности // Научно-технический вестник Поволжья. — 2014. — №1. — С. 13–16.

*П.А. Будко*

доктор технических наук, профессор ПАО «Интелтех»

*Д.Н. Рыжкова*

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

*Ж.О. Карпова*

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

*Д.В. Воронина*

Военная академия связи имени Маршала Советского Союза С.М. Будённого

## ИМИТАТОР СЕТЕВОГО ТРАФИКА

**АННОТАЦИЯ.** Предложена схемная реализация имитатора сетевого трафика и блока коррекции параметров трафика, которые могут быть использованы при моделировании и испытании телекоммуникационных систем на этапе их проектирования.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** анализ сетевого трафика, генератор шума, коррекция параметров трафика, режимы работы имитатора, классификация трафика

### Введение

Известны генераторы искусственного трафика [1–3], к недостаткам которых можно отнести малый класс генерируемых случайных импульсных последовательностей, не позволяющий имитировать различные виды трафика современных телекоммуникационных сетей (ТКС), а также сильную зависимость генерируемых последовательностей от исходного сигнала, поскольку получаемые в результате преобразования импульсы имеют плотность вероятностей исходного сигнала в виде случайных по амплитуде периодических импульсов. Известны блоки контроля и коррекции параметров [4–5], недостатками которых является ограниченное число регулируемых параметров для выработки необходимой реакции системы, что ограничивает спектр возможного моделирования ТКС. Целью разработки имитатора сетевого трафика (ИСТ) и блока коррекции (БК) его параметров является расширение спектра моделирования видов сетевого трафика современных ТКС.

### 1. Разработка имитатора сетевого трафика

Технический результат в предлагаемом ИСТ достигается тем, что в его состав входят элементы,

представленные на функциональной схеме рис. 1: блок коррекции параметров трафика 2 (БК), первый 3 (ГШ1) и второй 4 (ГШ2) генераторы шума; первый 5 (ЭВХ1) и второй 6 (ЭВХ2) элементы выборки и хранения; первый 7 (ЭС1) и второй 8 (ЭС2) элементы сравнения; перестраиваемый генератор тактовых импульсов 9 (ГТИ); генератор линейно-изменяющегося напряжения 10 (ГЛИН); первая 11 (ЛЗ1), вторая 12 (ЛЗ2) и третья 13 (ЛЗ3) регулируемые линии задержки; первый 14 (ЭК1) и второй 15 (ЭК2) электронные ключи; управляющий элемент 16 (УЭ).

Причем выходы ГШ1 3 и ГШ2 4 подключены к первым входам соответственно ЭВХ1 5 и ЭВХ2 6, выходы которых подключены к первым входам соответственно ЭС1 7 и ЭС2 8 элементов сравнения, к вторым входам которых подключен выход ГЛИН 10, вход которого объединен с выходом перестраиваемого ГТИ 9 и вторыми входами ЭВХ1 5 и ЭВХ2 6, а также с вторыми входами ЭК1 14 и ЭК2 15 и присоединен к информационному входу ЛЗ2 12.

Выход ЭС1 подключен к первым входам ЭК1 и ЭК2 и к информационному входу ЛЗ1, выход которой подключен к четвертым входам ЭК1 и ЭК2. Выход ЛЗ2 подключен к пятым вхо-

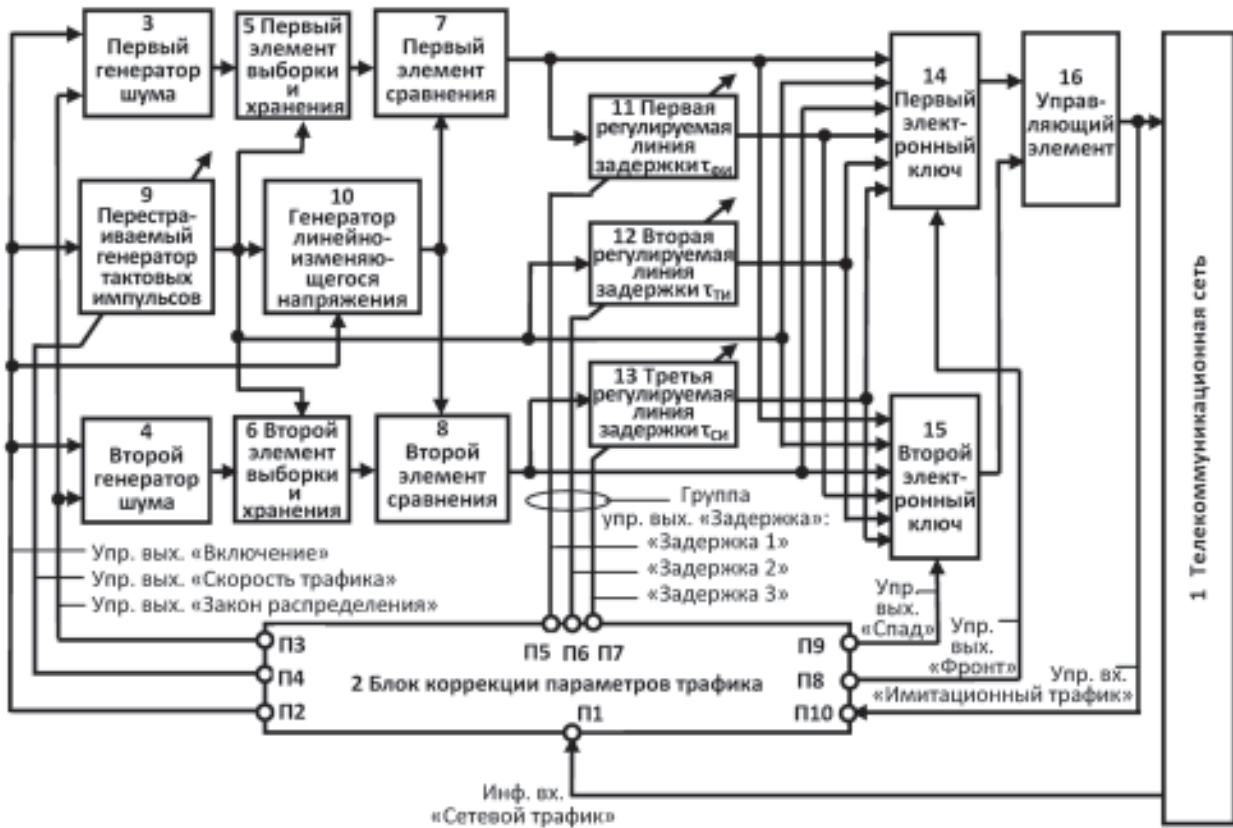


Рис. 1

дам ЭК1 и ЭК2. Выход ЭС2 подключен к третьим входам ЭК1 и ЭК2 и к информационному входу ЛЗ3, выход которой подключен к шестым входам ЭК1 и ЭК2. Управляющие входы ЭК1 и ЭК2 подключены к управляющим выходам соответственно «Фронт» и «Спад» БК. Управляющие входы ЛЗ1, ЛЗ2 и ЛЗ3 соответственно подключены к управляющим выходам «Задержка 1», «Задержка 2» и «Задержка 3» БК. Управляющие входы ГШ1 и ГШ2 объединены и подключены к управляющему выходу «Закон распределения» БК. Входы включения ГШ1 и ГШ2, перестраиваемого ГТИ и ГЛИН объединены и подключены к управляющему выходу «Включение» БК. Управляющий вход перестраиваемого ГТИ подключен к управляющему выходу «Скорость трафика» БК, информационный выход которого «Сетевой трафик» подключен к ТКС. Выходы соответственно ЭК1 и ЭК2 подключены к первому и второму входам УЭ, информационный выход которого подключен к управляющему входу «Имитационный трафик» БК и к выходу ИСТ в ТКС.

ГШ1 и ГШ2 предназначены для формирования (генерации) случайных сигналов с основ-

ными законами распределения. ЭВХ1 и ЭВХ2 предназначены для получения мгновенных значений напряжения из случайных сигналов (формируемых ГШ) в данный момент времени. ЭС1 и ЭС2 предназначены для сравнения значений напряжений сигналов, подаваемых на их входы. Перестраиваемый ГТИ предназначен для генерирования тактовых импульсов с различным периодом следования. ГЛИН предназначен для формирования пилообразного напряжения. ЛЗ1, ЛЗ2 и ЛЗ3 предназначены для обеспечения регулируемой временной задержки сигнала, подаваемого на их входы. ЭК1 и ЭК2 предназначены для переключения видов формируемых импульсных последовательностей. При этом назначение ЭК1 состоит в формировании фронтов импульсов, а назначение ЭК2 — в формировании спадов импульсов имитационного трафика. Они содержат по шесть информационных и одному управляющему входам, а также по одному информационному выходу. УЭ предназначен для формирования выходного имитационного трафика. Он представляет собой известный RS-триггер.



## 2. Разработка блока коррекции параметров трафика

Блок коррекции параметров трафика 2, схема которого показана на рис. 2, предназначен для анализа сетевого трафика, анализа имитационного трафика, сравнения имитационного трафика с эталонными моделями и коррекции основных параметров имитационного трафика в соответствии с результатами этого сравнения. Он включает в свой состав: модуль эталонных моделей 2.1 (МЭМ), модуль коррекции 2.2 (МК), модуль настройки 2.3 (МН) и модуль электропитания 2.4 (МЭ). При этом первый выход МЭМ соединен с первым входом группы управляющих входов «Параметры трафика» МК, а шестой выход с управляющим входом «Эталонный трафик» МН, первый выход которого соединен с первым входом группы управляющих входов «Коррекция трафика» МК, а шестой выход с управляю-

щим входом «Вид трафика» МЭМ, первый вход которого является информационным входом «Сетевой трафик» БК. Управляющий вход «Имитационный трафик» МН является одноименным входом БК, а управляющий выход «Закон распределения» МК является одноименным выходом БК. При этом МЭМ состоит из платы измерения параметров трафика 2.1.1 (ПИПТ), платы анализа вида трафика 2.1.2 (ПАВТ) и платы хранения эталонных моделей трафика 2.1.3 (ПХЭМТ). МК состоит из платы управления законом распределения 2.2.1 (ПУЗР), платы управления периодом следования тактовых импульсов 2.2.2 (ПУПСТИ), платы управления задержкой 2.2.3 (ПУЗ), платы управления фронтом импульса 2.2.4 (ПУФИ) и платы управления спадом импульса 2.2.5 (ПУСИ). МН состоит из платы настройки вида имитационного трафика 2.3.1 (ПНВИТ) и платы анализа имитационного

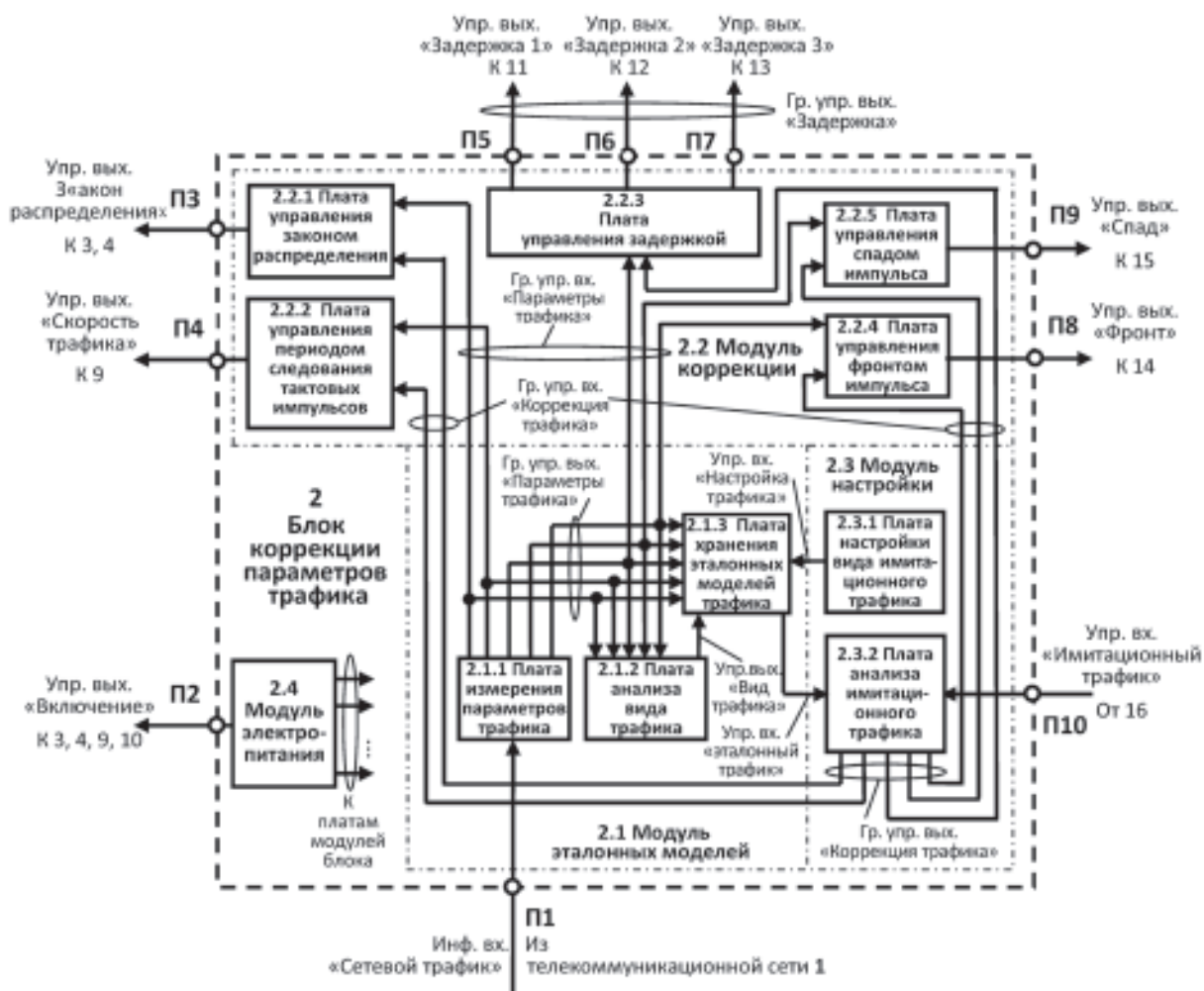


Рис. 2

трафика 2.3.2 (ПАИТ). Причем информационный вход «Сетевой трафик» МЭМ подсоединен к входу ПИПТ, первый-пятый выходы которой объединены в группу управляющих выходов «Параметры трафика» и параллельно соединены с первым-пятым входами ПАВТ и ПХЭМТ, а каждый из них, образуя группу управляющих входов «Параметры трафика» МК, поочередно соединен с первыми входами ПУЗР, ПУПСТИ, ПУЗ, ПУФИ и ПУСИ. Их выходы являются соответственно управляющим выходом «Закон распределения», управляющим выходом «Скорость трафика», группой управляющих выходов «Задержка», состоящей из управляющих выходов «Задержка 1», «Задержка 2», «Задержка 3», а также управляющим выходом «Фронт» и управляющим выходом «Спад» МК и БК. Вторые входы данных плат соответственно соединены с первым-пятым выходами МН, являющимися группой управляющих выходов «Коррекция трафика» ПАИТ, управляющий вход «Имитационный трафик» которой соединен с одноименным входом МН и БК, а ее управляющий вход «Эталонный трафик» является одноименным входом МН и соединен с выходом ПХЭМТ МЭМ, шестой и седьмой входы которой соединены с выходами ПАВТ и ПНВИТ. МЭ в свою очередь соединен со всеми платами БК и имеет внешний управляющий выход «Включение».

МЭМ 2.1 предназначен для анализа и измерения основных параметров трафика, поступающего из ТКС 1 и хранения эталонных моделей трафика. МК 2.2 предназначен для управления и корректировки основных параметров имитируемого трафика. МН 2.3 предназначен для управления настройкой основных видов имитационного трафика и сравнения сформированного имитационного трафика с эталонными моделями. МЭ 2.4 предназначен для обеспечения электропитанием как плат модулей БК 2, так и ГШ1 3 (рис. 1) и ГШ2 4, перестраиваемого ГТИ 9 и ГЛИН 10 ИСТ.

В свою очередь, МЭМ 2.1 (рис. 2) включает:

ПИПТ 2.1.1, предназначенную для измерения основных параметров  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ , ..., поступающего из ТКС (рис. 1) реального сетевого трафика в режиме on-line. К основным параметрам сетевого трафика и качеству его обслуживания (Quality of Service — QoS) можно отнести такие как задержка (delay), джиттер (jitter) и потери пакетов (packet loss). Также, например, для сетей АТМ основными измеряемыми параметрами

являются: Peak Cell Rate (PCR) — максимальная скорость передачи данных; sustained Cell Rate (SCR) — средняя скорость передачи данных; Minimum Cell Rate (MCR) — минимальная скорость передачи данных; Maximum Burst Size (MBS) — максимальный размер пульсации; Cell Loss Ratio (CLR) — доля потерянных ячеек; Cell Transfer Delay (CTD) — задержка передачи ячеек; Cell Delay Variation (CDV) — вариация задержки ячеек. В связи с чем множество основных измеряемых параметров сетевого трафика остается открытым ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ , ...) для различных ТКС и применяемых сетевых технологий;

ПАВТ 2.1.2 (рис. 2), предназначенного для определения вида трафика, поступающего из ТКС по его измеренным основным параметрам  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ , ..., путем их сравнения с установленными пороговыми значениями  $\alpha_{\text{пор}}$ ,  $\beta_{\text{пор}}$ ,  $\gamma_{\text{пор}}$ , ... для каждого  $n$ -го вида трафика,  $n = A, B, C, \dots$ . При этом весь сетевой IP-трафик на уровне пакетов делится на две основные составляющие: сигнальный трафик — трафик сигнальных сообщений, передаваемых для установления, изменения и разрушения сеанса связи между узлами в пакетной сети; медиатрафик — трафик передачи информации пользователей (голос, видео и данные);

ПХЭМТ 2.1.3, представляющую из себя массив данных, в котором сохраняются эталонные модели основных видов трафика.

МК 2.2 включает в себя:

ПУЗР 2.2.1, предназначенную для управления и корректировки законом распределения генерируемых сигналов (случайных величин) ГШ1 и ГШ2 (рис. 1) ИСТ. При этом случайные сигналы (шумы)  $U_{\text{ГШ}}^1$  и  $U_{\text{ГШ}}^2$  с средней амплитудой  $U_{\text{ср}}$  подчиняются одному из основных законов распределения случайной величины —  $A(\alpha_a, \beta_a, \gamma_a)$ ,  $B(\alpha_b, \beta_b, \gamma_b)$  или  $C(\alpha_c, \beta_c, \gamma_c)$ , определяемый одним из трех эквивалентных способов — по независимым моментам времени появления событий  $\alpha$ , по независимым длительностям интервалов между моментами появления двух смежных событий  $\beta$  или по количеству наступления событий в течение заданных промежутков времени  $\gamma$ ;

ПУПСТИ 2.2.2 (рис. 2), предназначенную для управления и корректировки скорости генерации искусственного трафика путем изменения в перестраиваемом ГТИ (рис. 1) частоты следования тактовых импульсов  $F_{\text{ГТИ}}$ ;

ПУЗ 2.2.3 (рис. 2), предназначенную для управления ЛЗ1, ЛЗ2 и ЛЗ3 (рис. 1) путем раздельной корректировки задержки моментов времени начала фронта (переднего фронта) импульса на величину  $\tau_{\text{ФИ}}$ , задержки моментов времени начала спада (заднего фронта) импульса на величину  $\tau_{\text{СИ}}$  и задержки тактовых импульсов на величину  $\tau_{\text{ТИ}}$ , причем  $\tau_{\text{ФИ}} \neq \tau_{\text{ТИ}} \neq \tau_{\text{СИ}}$ ;

ПУФИ 2.2.4 (рис. 2), предназначенную для выработки управляющих сигналов в двоичном коде по управлению ЭК1 (рис. 1). При этом используемые команды управления представлены в столбце 4 рис. 7;

ПУСИ 2.2.5 (рис. 2), предназначенную для выработки управляющих сигналов в двоичном коде по управлению ЭК2 (рис. 1). При этом используемые команды управления представлены в столбце 5 рис. 7.

МН 2.3 (рис. 2) включает в себя:

ПНВИТ 2.3.1, позволяющую осуществлять выбор основных видов имитационного трафика программно через интерфейс оператора.

ПАИТ 2.3.2, предназначенного для сравнения параметров имитационного трафика, поступающего с выхода ИСТ (с выхода УЭ, рис. 1) с эталонным трафиком (по параметрам его модели), поступающего с ПХЭМТ 2.1.3 МЭМ (рис. 2).

БК 2 может быть реализован в виде процессора. При этом он снабжен: входным портом П1 (рис. 1, 2), осуществляющим информационный вход «Сетевой трафик» из ТКС; выходным портом П2, осуществляющим управляющий выход «Включение», соединенным с первыми управляющими входами ГШ1 и ГШ2, перестраиваемым ГТИ и ГЛИН, обеспечивая подключение электропитания к данным генераторам; выходным портом П3, осуществляющим управляющий выход «Закон распределения», соединенным с вторыми управляющими входами ГШ1 и ГШ2, обеспечивая выбор закона распределения генерируемых случайных шумовых сигналов; выходным портом П4, осуществляющим управляющий выход «Скорость трафика», соединенным с вторым управляющим входом перестраиваемого ГТИ, обеспечивая изменение периода следования тактовых импульсов; группой управляющих портов П5, П6 и П7, осуществляющей соответственно управляющие выходы «Задержка 1», «Задержка 2» и «Задержка 3», соединенные с управляющими входами ЛЗ1, ЛЗ2 и ЛЗ3, обеспечивая управление величинами

временной задержки момента образования фронта импульса, тактового импульса и момента образования спада импульса; выходным портом П8, осуществляющим управляющий выход «Фронт», соединенным с управляющим входом ЭК1, обеспечивая подключение одного из его шести информационных входов на информационный выход; выходным портом П9, осуществляющим управляющий выход «Спад», соединенным с управляющим входом ЭК2, обеспечивая подключение одного из его шести информационных входов на информационный выход; входным портом П10, осуществляющим управляющий вход «Имитационный трафик», соединенный с выходом УЭ ИСТ на ТКС, обеспечивая цепь коррекции сформированного имитационного трафика (цепь обратной связи).

Причем информационный вход «Сетевой трафик» ИСТ является входным портом П1, информационным входом БК (рис. 1, 2) и МЭМ, подсоединен к входу ПИПТ (рис. 2), первый-пятый выходы которой объединены в группу управляющих выходов «Параметры трафика» МЭМ и параллельно соединены с первым-пятым входами ПАВТ и ПХЭМТ, а каждый из них, образуя группу управляющих входов «Параметры трафика» МК, поочередно соединен с первыми входами ПУЗР, ПУПСТИ, ПУЗ, ПУФИ и ПУСИ, выходы которых являются соответственно управляющим выходом «Закон распределения» порт П3, управляющим выходом «Скорость трафика» порт П4, группой управляющих выходов «Задержка», состоящей из управляющих выходов «Задержка 1» порт П5, «Задержка 2» порт П6, «Задержка 3» порт П7, а также управляющим выходом «Фронт» порт П8 и управляющим выходом «Спад» П9 МК и БК. Вторые же входы данных плат, объединенные в группу управляющих входов «Коррекция трафика» МК, соответственно соединены с первым-пятым выходами МН, являющимися группой управляющих выходов «Коррекция трафика» ПАИТ, управляющий вход «Имитационный трафик» которой соединен с одноименным входом МН и БК, а ее управляющий вход «Эталонный трафик» является одноименным входом МН и соединен с выходом ПХЭМТ МЭМ, шестой и седьмой входы которой соединены соответственно с управляющими выходами «Вид трафика» ПАВТ МЭМ и «Настройка трафика» ПНВИТ МН. МЭ соединен со всеми платами модулей и имеет внешний управляющий выход «Включение».

### 3. Алгоритм работы имитатора сетевого трафика

Заявленный ИСТ работает следующим образом. Предусмотрено три режима: режиме анализа сетевого трафика; режиме формирования имитационного трафика; режиме корректировки трафика. Причем первый и третий режим осуществляется непосредственно в БК 2, а второй режим — в ИСТ 3–16.

*В режиме анализа сетевого трафика* (первый этап алгоритма работы ИСТ, рис. 3) по команде на включение ИСТ происходит подача электропитания от МЭ на платы БК (рис. 2) и генераторы ГШ1, ГШ2, ГТИ и ГЛИН через порт П2 (рис. 1). Сетевой трафик реального времени поступает из ТКС через порт П1 на информационный вход «Сетевой трафик» ПИПТ (рис. 2), где происходит измерение основных его параметров. Далее через группу управляющих выходов «Параметры трафика» измеренные значения основных параметров трафика поступают в ПАВТ, где определяется вид трафика, и парал-

лельно в ПХЭМТ, в которую через управляющий вход «Вид трафика» из ПАВТ происходит запись соответствия измеренных параметров выбранному виду трафика. При этом ПХЭМТ может иметь заранее сохраненные эталонные модели разновидового трафика, либо работая по сбору статистики сохранять типовые виды трафика, курсирующего в режиме on-line в конкретной ТКС с учетом особенностей типа сети, используемых протоколов обмена информацией и используемых сервисов на сети. В данном случае происходит, так называемое, «Обучение» ИСТ на разновидовый трафик, циркулирующий в ТКС. Параллельно с ПАВТ и ПХЭМТ через группу управляющих входов «Параметры трафика» измеренные параметры сетевого трафика поступают поочередно на первые входы ПУЗР, ПУПСТИ, ПУЗ, ПУФИ и ПУСИ МК. Перечисленные платы управления вырабатывают управляющие воздействия, которые подают на свои управляющие выходы соответственно «Закон

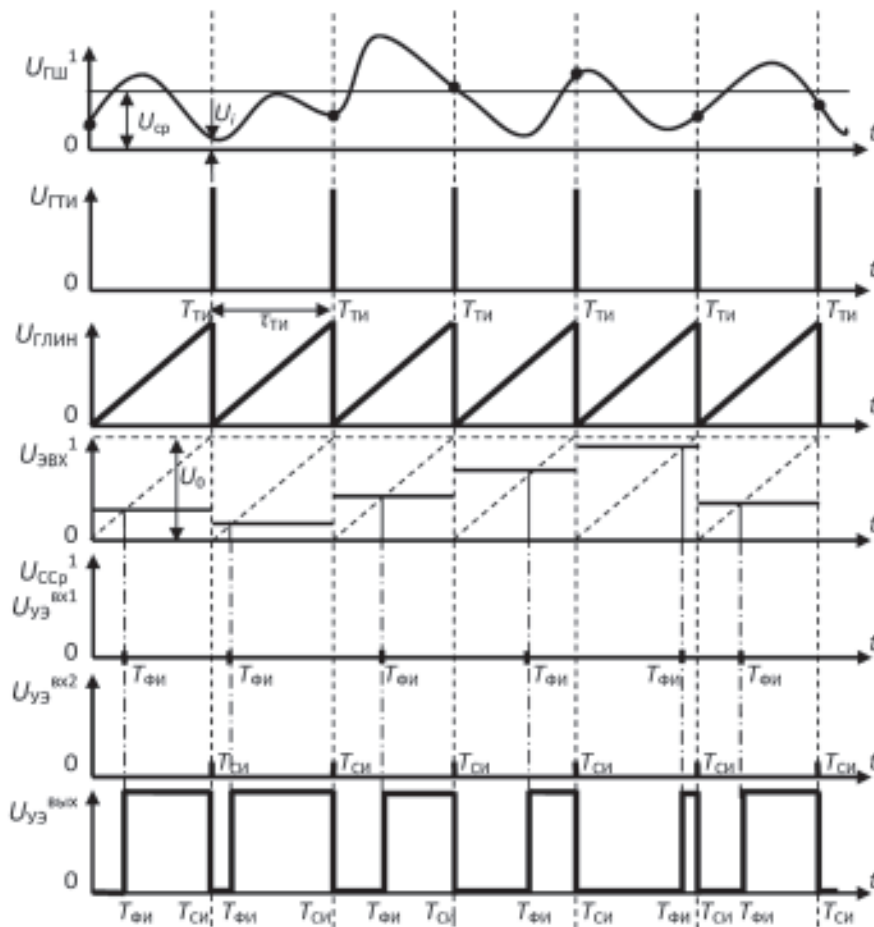


Рис. 3



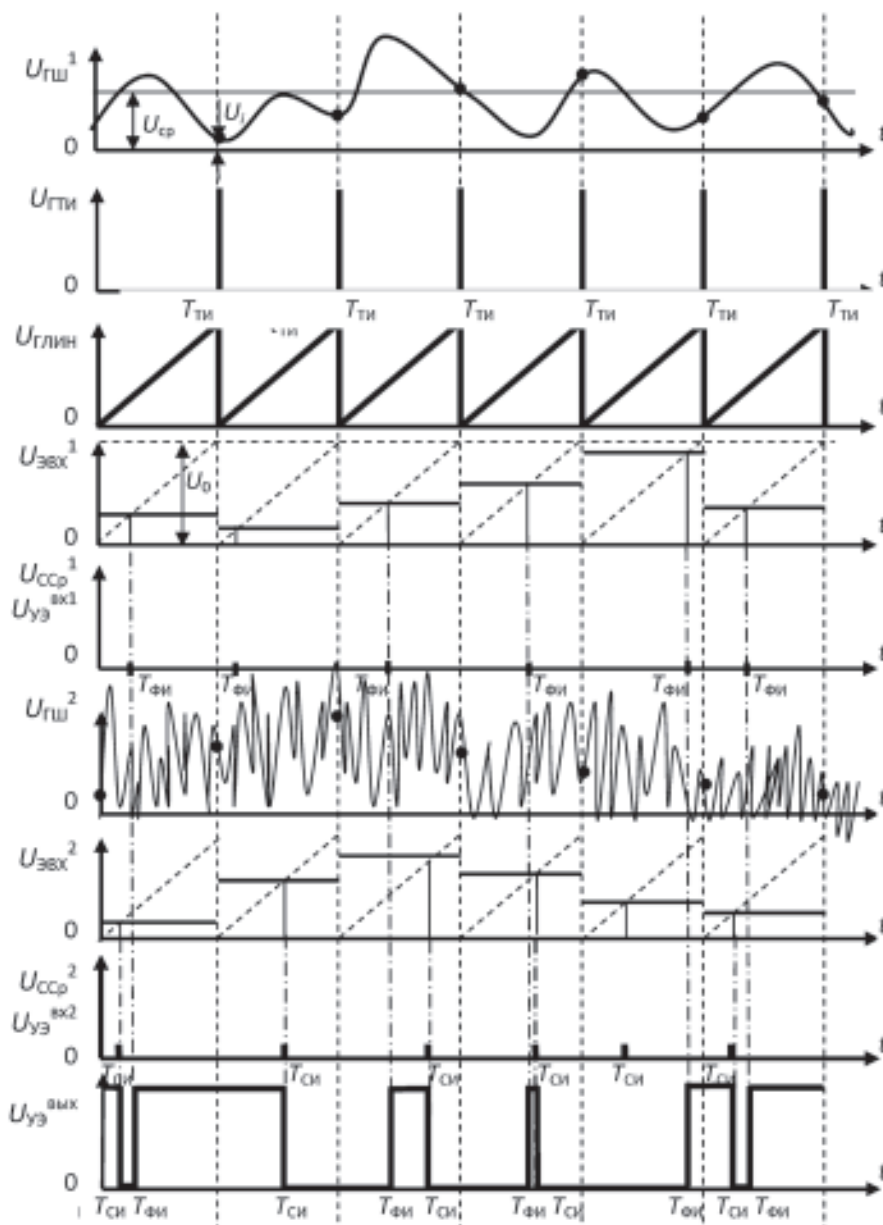


Рис. 4

распределения» через порт П3 БК; «Скорость трафика» через порт П4 БК; «Задержка 1», «Задержка 2» и «Задержка 3» через порты П5, П6 и П7 БК; «Фронт» через порт П8 БК; «Спад» через порт П9 БК для последующего формирования имитационного трафика.

*В режиме формирования имитационного трафика* в исходном положении на первые управляющие входы ГШ1 и ГШ2 (рис. 1), перестраиваемый ГТИ и ГЛИН ИСТ через порт П2 управляющего выхода «Включение» БК поступает электропитание. На вторые управляющие входы ГШ1 и ГШ2 поступают управляющие

сигналы «Закон распределения», через порт П3 БК с заданием закона распределения случайной величины (шума). На второй управляющий вход перестраиваемого ГТИ через порт П4 БК поступает управляющий сигнал на выбор скорости трафика, путем изменения частоты следования тактовых импульсов  $F_{ТИ}$ . На управляющие входы Л31, Л32 и Л33 поступают управляющие воздействия через порты П5, П6 и П7 БК на формирование величин задержки моментов образования соответственно фронта импульса  $\tau_{ФИ}$ , тактового импульса  $\tau_{ТИ}$  и спада импульса  $\tau_{СИ}$ . На управляющие входы «Фронт»



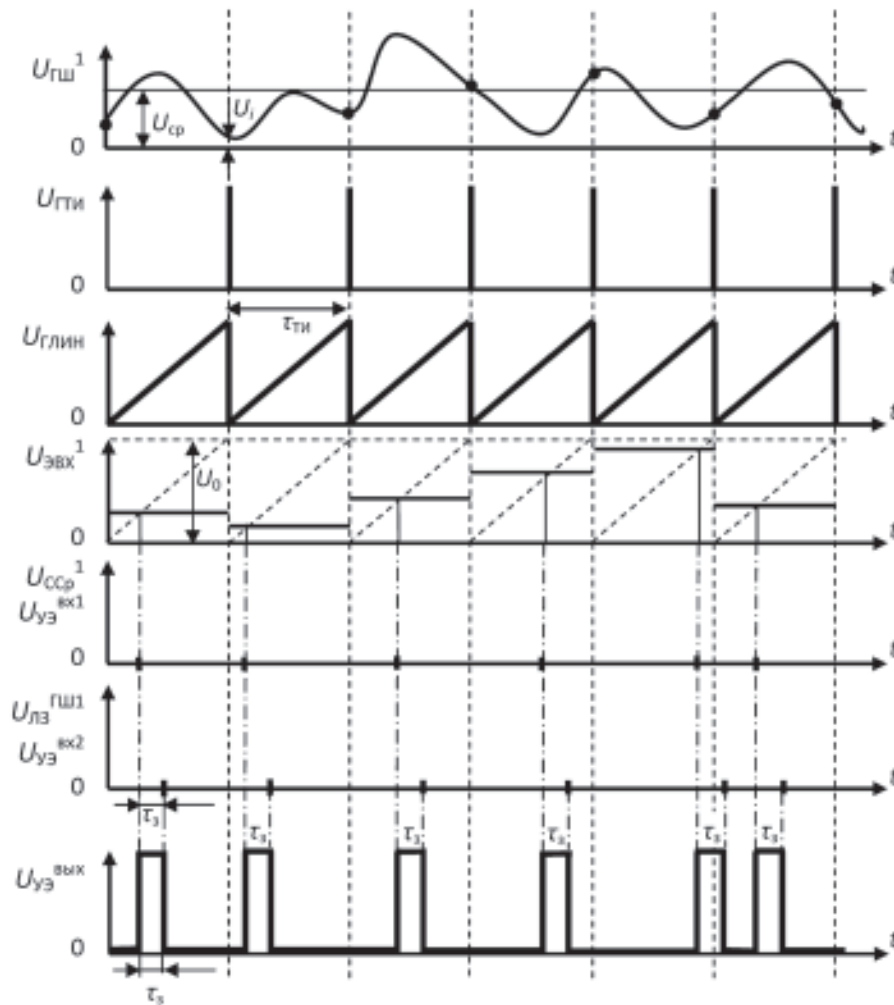


Рис. 5

и «Спад» соответственно ЭК1 и ЭК2 через соответствующие порты П8 и П9 поступают команды управления в соответствии с рис. 7 на формирование фронта и спада импульсов имитационной последовательности синтезируемого трафика.

Из всех 30 возможных вариантов построения импульсных последовательностей имитационного трафика, представленных на рис. 6 и 7, при фиксированном законе распределения случайных величин (шумов) в ГШ1 и ГШ2 (рис. 1), заданном значении периода следования тактовых импульсов в перестраиваемом ГТИ и постоянных задержках в ЛЗ1, ЛЗ2 и ЛЗ3 (ЛЗ(ГШ1), ЛЗ(ГТИ) и ЛЗ(ГШ2), управляемых входами «Задержка 1», «Задержка 2» и «Задержка 3»), остановимся на примере трех вариантов при формировании фронта и спада импульсов соответственно: при использовании ГШ1 и ГТИ; при

использовании ГШ1 и ГШ2; при использовании ГШ1 и ЛЗ(ГШ1).

При рассмотрении первого варианта построения импульсной последовательности случайный сигнал, с заданным законом распределения (см. диаграмму  $U_{ГШ}^1$  на рис. 3–5) с выхода ГШ1 (см. рис. 1) поступает на первый вход ЭВХ1, который содержит смеситель и экстраполятор нулевого порядка. Тактовые импульсы (см. диаграмму  $U_{ГТИ}$  на рис. 3–5), получаемые в перестраиваемом ГТИ, поступают на управляющий вход ЭВХ1, где потактово «вырезаются» мгновенные значения  $U_i$  из случайного сигнала (показаны точками на диаграмме  $U_{ГШ}^1$  рис. 3–5), которые затем экстраполируются (см. диаграмму  $U_{ЭВХ}^1$  на рис. 3–5) и поступают на первый вход ЭС1 (компаратор) (рис. 1), на второй вход которого подаются пилообразные импульсы с выхода

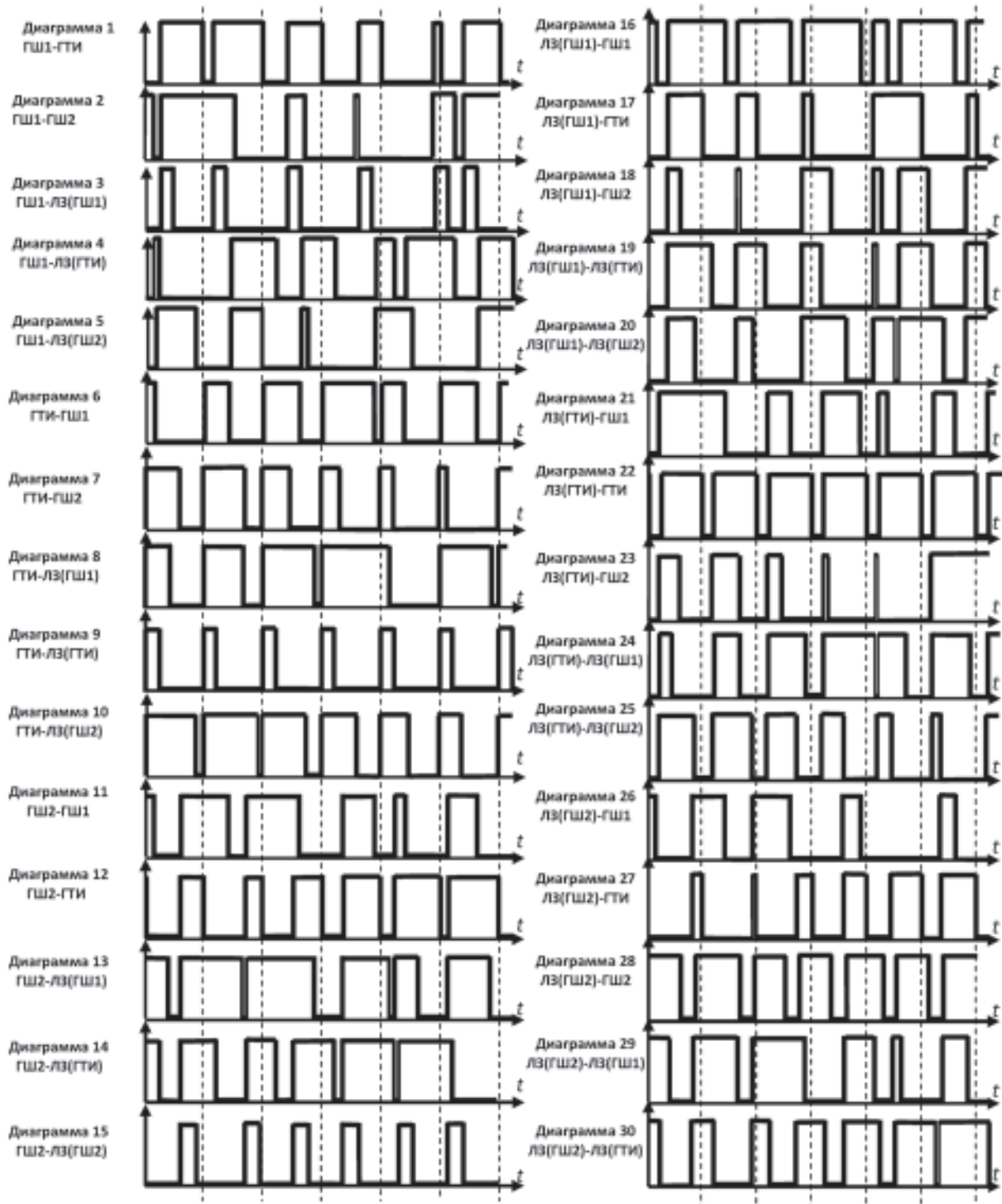


Рис. 6

Номер диаграммы (Рис. 5)	Элементы, влияющие на формирование		Команды управления электронных ключей		Примечание
	Фронта импульса	Спада импульса	Эл. ключ 1 Упр. вх. «Фронт»	Эл. ключ 2 Упр. вх. «Спад»	
			001	<b>001</b>	Запрещенная комбинация
1	ГШ1	ГТИ	001	010	
2	ГШ1	ГШ2	001	011	
3	ГШ1	ЛЗ(ГШ1)	001	100	
4	ГШ1	ЛЗ(ГТИ)	001	101	
5	ГШ1	ЛЗ(ГШ2)	001	110	
6	ГТИ	ГШ1	010	001	
			010	010	Запрещенная комбинация
7	ГТИ	ГШ2	010	011	
8	ГТИ	ЛЗ(ГШ1)	010	100	
9	ГТИ	ЛЗ(ГТИ)	010	101	
10	ГТИ	ЛЗ(ГШ2)	010	110	
11	ГШ2	ГШ1	011	001	
12	ГШ2	ГТИ	011	010	
			<b>011</b>	<b>011</b>	Запрещенная комбинация
13	ГШ2	ЛЗ(ГШ1)	011	100	
14	ГШ2	ЛЗ(ГТИ)	011	101	
15	ГШ2	ЛЗ(ГШ2)	011	110	
16	ЛЗ(ГШ1)	ГШ1	100	001	
17	ЛЗ(ГШ1)	ГТИ	100	010	
18	ЛЗ(ГШ1)	ГШ2	100	011	
			<b>100</b>	<b>100</b>	Запрещенная комбинация
19	ЛЗ(ГШ1)	ЛЗ(ГТИ)	100	101	
20	ЛЗ(ГШ1)	ЛЗ(ГШ2)	100	110	
21	ЛЗ(ГТИ)	ГШ1	101	001	
22	ЛЗ(ГТИ)	ГТИ	101	010	
23	ЛЗ(ГТИ)	ГШ2	101	011	
24	ЛЗ(ГТИ)	ЛЗ(ГШ1)	101	100	
			<b>101</b>	<b>101</b>	Запрещенная комбинация
25	ЛЗ(ГТИ)	ЛЗ(ГШ2)	101	110	
26	ЛЗ(ГШ2)	ГШ1	110	001	
27	ЛЗ(ГШ2)	ГТИ	110	010	
28	ЛЗ(ГШ2)	ГШ2	110	011	
29	ЛЗ(ГШ2)	ЛЗ(ГШ1)	110	100	
30	ЛЗ(ГШ2)	ЛЗ(ГТИ)	110	101	
			<b>110</b>	<b>110</b>	Запрещенная комбинация

\* Кодовые комбинации «000» и «111» используются для команд «вкл.» и «выкл.»

Рис. 7

ГЛИН (см. диаграмму  $U_{\text{ГЛИН}}$  на рис. 3–5). Как только линейно изменяющееся напряжение превысит уровень компарации (экстраполированное напряжение), на выходе ЭС1 выделяется импульс (см. диаграммы  $U_{\text{ЭВХ}}^1$ ,  $U_{\text{ССР}}^1$ ,  $U_{\text{УЭ}}^{\text{ex1}}$  на рис. 3–5), который поступая на первый вход ЭК1 (рис. 1) при разрешающей команде управления через порт П8 БК и его ПУФИ (рис. 2). Для данной ситуации разрешающей командой управления для ЭК1 (рис. 1) будет команда «001» (см. рис. 7) в двоичной системе счисления, что эквивалентно «1» в десятичной системе счисления, т. е. на выход ЭК1 будет включен первый его вход, к которому подключена цепь формирования фронта импульса от ГШ1 (рис. 1). Сформированный ЭК1 по команде управления «001» сигнал, соответствующий моменту времени начала фронта импульса переведет УЭ (RS-триггер) во второе устойчивое состояние, при этом на его выходе появится высокий потенциал (см. диаграмму  $U_{\text{УЭ}}^{\text{ex1}}$  на рис. 3–5). Тем самым зафиксируем передний фронт импульса, момент появления которого случаен и определяется законом распределения исходного процесса  $U_i$ , которые легко пересчитываются во временные интервалы, отсчитываемые от начала координат. Положение импульсов на временной оси определим по формуле:

$$\tau_i = \frac{\tau_{\text{ГТИ}}}{U_0} \left( \sum_{i=1}^n U_i - i U_{\text{ср}} \right).$$

где  $U_0$  — уровень компарации элементов сравнения, совпадающий с амплитудой линейно изменяющегося напряжения;  $U_{\text{ср}}$  — среднее значение случайного процесса;  $U_i$  — мгновенное значение случайного процесса;  $\tau_{\text{ГТИ}}$  — период следования тактовых импульсов;  $\tau_i$  — временное положение  $i$ -го импульса имитируемого трафика на временной оси;  $l$  — число тактов имитируемой импульсной последовательности (длительность потокового трафика),  $l \rightarrow \infty$ .

Следующий тактовый импульс, поступающий с выхода перестраиваемого ГТИ (рис. 1) через ЭК2, открытый по управляющему сигналу через порт П9 БК в двоичном коде «010» (рис. 7) для его управляющего входа, означающий «2» в десятичной системе счисления (т. е. на выход ЭК2 включен второй его вход) (см. диаграмму  $U_{\text{УЭ}}^{\text{ex2}}$  на рис. 3), поступает на вход установки в нуль УЭт (RS-триггера) (рис. 1), который воз-

вращает его в первое (нулевое) устойчивое состояние, при этом на его выходе появится низкий потенциал (см. диаграмму  $U_{\text{УЭ}}^{\text{ex2}}$  на рис. 3). Тем самым будет зафиксирован задний фронт (спад) импульса, момент появления которого фиксирован по положению тактового импульса. Таким образом, при генерации импульсной последовательности, представленной на диаграмме  $U_{\text{УЭ}}^{\text{ex2}}$  рис. 3 в качестве основных элементов, отвечающих за формирование фронта и спада импульсов использованы соответственно ГШ1 и перестраиваемый ГТИ (см. диаграмму 1 (ГШ1 — ГТИ) на рис. 6).

Если на управляющий вход ЭК1 (рис. 1) от платы ПУФИ (рис. 2) через порт П8 БК также будет подаваться команда управления в двоичном коде «001», а на управляющий вход ЭК2 поступает управляющий сигнал в двоичном коде «011» («3» в десятичной системе счисления), то задний фронт (спад) выходного импульса оказывается задержанным случайным образом на величину, генерируемую с помощью второй цепочки генерации трафика, состоящего из ГШ2 (рис. 1), ЭВХ2 и ЭС2, путем подключения ее к третьему входу ЭК2, а генерированные импульсы будут иметь и фронт и спад сформированные случайным образом соответственно ГШ1 и ГШ2.

При этом сформированный ЭК2 по команде управления «011» сигнал, соответствующий моменту времени начала спада импульса переведет УЭ (RS-триггер) в нуль. Данный процесс аналогичен работе первой цепи генерации трафика с той разницей, что в ней происходит формирование спада импульса по случайному закону распределения ГШ2. Так, случайный сигнал, с заданным для ГШ2 законом распределения (см. диаграмму  $U_{\text{ГШ}}^2$  на рис. 4) с выхода ГШ2 (см. рис. 1) поступает на вход ЭВХ2, на второй вход которого поступают тактовые импульсы из перестраиваемого ГТИ (см. диаграмму  $U_{\text{ГТИ}}$  на рис. 4), где потактово «вырезаются» мгновенные значения  $U_i$  из случайного сигнала (на диаграмме  $U_{\text{ГШ}}^2$  рис. 4 показаны точками) и экстраполируются (см. диаграмму  $U_{\text{ЭВХ}}^2$  на рис. 4), после чего поступают на первый вход ЭС2 (компаратор) (рис. 1), на второй вход которого подаются пилообразные импульсы с выхода ГЛИН (см. диаграмму  $U_{\text{ГЛИН}}$  на рис. 4). Как только линейно изменяющееся напряжение превысит уровень компарации (экстраполированное напряжение),

на выходе ЭС2 выделяется импульс (см. диаграммы  $U_{ЭВХ}^2$ ,  $U_{ССР}^2$ ,  $U_{УЭ}^{6х2}$  на рис. 4), который своим фронтом переведет УЭ (RS-триггер) (рис. 1) во второе устойчивое состояние, при этом на его выходе появится последовательность импульсов, (см. диаграмму  $U_{УЭ}^{6ых}$  на рис. 4) со случайными по времени фронтам и спадом. Таким образом, при генерации импульсной последовательности, представленной на диаграмме  $U_{УЭ}^{6ых}$  рис. 4 в качестве основных элементов, отвечающих за формирование фронта и спада импульсов использованы соответственно ГШ1 и ГШ2 (см. диаграмму 2 (ГШ1 — ГШ2) на рис. 6).

Если на управляющий вход ЭК1 (рис. 1) также будет подаваться команда управления в двоичном коде «001» («1» в десятичной системе счисления), т. е. на выход ЭК1 подключен первый его вход, а на управляющий вход ЭК2 поступает управляющий сигнал в двоичном коде «100» («4» в десятичной системе счисления), т. е. на выход ЭК2 подключен четвертый его вход, то задний фронт (спад) выходного импульса оказывается задержанным на величину настройки ЛЗ1, управляемой через управляющий вход «Задержка 1» (рис. 2 и 5).

При этом основной вход ЛЗ1 (рис. 1) подключен к выходу ЭС1 (см. диаграмму  $U_{ССР}^1$  рис. 5). Тогда на выходе ЛЗ1 имеем диаграмму  $U_{ЛЗ}^{ГШ1}$  (см. рис. 5). В данный момент времени (задержанный на величину задержки  $\tau_3$ ) на четвертый вход ЭК2 (рис. 1) поступит сигнал, который переведет УЭ (RS-триггер) в нулевое состояние и на выходе ИСТ появится последовательность, представленная на диаграмме  $U_{УЭ}^{6ых}$  рис. 5. Причем сформированные импульсы будут иметь постоянную длительность. Так при  $\tau_3 = 53$  байта/ $V$ (бит/с), где 53 байта — длина ячейки АТМ, а  $V$  — скорость передачи ячейки, можно имитировать технологию асинхронного режима передачи — сеть АТМ.

Таким образом, при управляющем воздействии на ЭК1 и ЭК2 (рис. 1) команд управления соответственно «001» и «100» (рис. 7), а также при воздействии на ЛЗ1 через управляющий вход «Задержка 1» (см. рис. 1) в качестве основных элементов, отвечающих за формирование фронта и спада импульсов использованы соответственно ГШ1 и ЛЗ1, что соответствует выходной импульсной последовательности устройства (см. диаграмму 3 (ГШ1 — ЛЗ1(ГШ1) рис. 6).

При формировании имитационного трафика необходимо соблюдать четкое чередование фронта и спада импульса, это связано с работой УЭ — RS-триггера. Так, например, на диаграмме  $U_{УЭ}^{6х1}$  рис. 4 будет проигнорирован второй момент времени срабатывания ЭС1 (рис. 1) в связи с тем, что в данный момент времени УЭ (триггер) уже будет находиться в первом устойчивом состоянии при формировании фронта импульса (между первым и вторым моментами времени, формирующими фронты импульсов  $T_{ФИ}$  отсутствует момент времени для формирования спада импульса  $T_{СИ}$ ), а на диаграмме  $U_{УЭ}^{6х2}$  рис. 4 будет проигнорирован пятый момент времени срабатывания ЭС2 (рис. 1) в связи с тем, что УЭ (триггер) уже будет находиться во втором устойчивом состоянии при формировании спада импульса (между четвертым и пятым моментами времени, формирующими  $T_{СИ}$  отсутствует момент времени для формирования  $T_{ФИ}$ ).

*В режиме коррекции имитационного трафика* с выхода УЭ сформированный имитационный трафик поступает в ТКС и параллельно на управляющий вход «Имитационный трафик» БК. Данная импульсная последовательность через порт 10 поступает далее на первый вход ПАИТ (рис. 2) МН, на второй вход которой поступает эталонная модель трафика с заданными для установленного вида трафика основными его параметрами. После сравнения имитационного трафика с эталонной моделью (их основных параметров) в плате 2.3.2 происходит выработка управляющих сигналов на корректировку этих параметров, которые через группу управляющих выходов «Коррекция трафика» поступают на вторые входы ПУЗР, ПУПСТИ, ПУЗ, ПУФИ и ПУСИ МК. Перечисленные платы управления вырабатывают управляющие воздействия, которые подают на свои управляющие выходы соответственно «Закон распределения»; «Скорость трафика»; «Задержка 1», «Задержка 2» и «Задержка 3»; «Фронт»; «Спад». Данные управляющие воздействия поступают соответственно на управляющие входы ГШ1 и ГШ2 (рис. 1) — через порт П3; перестраиваемого ГТИ — через порт П4; ЛЗ1, ЛЗ2 и ЛЗ3 — через порты П5, П6 и П7; ЭК1 — через порт П8; ЭК2 — через порт П9. Тем самым осуществляется корректировка параметров имитируемого трафика, замыкая контур управления.

Также для осуществления испытания, обучения и настройки сетевого оборудования выбор



вида синтезируемого имитационного трафика может осуществляться с использованием ПВВИТ 2.3.1 (рис. 2) МН 2.3 БК 2. В данном случае плата 2.3.1 имеет связь с ПХЭМТ 2.1.3 МЭМ 2.1, через которую осуществляется выбор заданной эталонной модели трафика и использование основных параметров данной модели для управления параметрами синтезируемого трафика через ПАИТ 2.3.2 МН, группу управляющих выходов «Коррекция трафика», и далее по описанным выше цепям модуля коррекции 2.2.

Таким образом, в ходе выполнения третьего этапа работы осуществляется корректировка основных параметров имитируемого сетевого трафика для поддержания их в соответствии с исходными данными или имитационной моделью. Сформированный имитационный трафик направляется в ТКС или используется для решения задач моделирования, испытания и обучения сетевого оборудования. Данный режим

работы ИСТ и БК в сравнение с простым использованием эталонных моделей трафика позволяет добиться целевой установки статьи, заключающейся в расширении класса генерируемых последовательностей.

### Заключение

Благодаря перечисленной новой совокупности существенных признаков имитатора сетевого трафика обеспечивается более широкий класс генерируемых случайных импульсных последовательностей, позволяющий моделировать большее число трафиков современных ТКС за счет использования в своем составе перестраиваемого ГТИ, регулируемых линий задержки и настраиваемых на случайные последовательности с основными законами распределения двух генераторов шума, отвечающих за формирование соответственно фронта и спада импульсов в генерируемых последовательностях.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Бобнев М.П. Генерирование случайных сигналов. — М.: Энергия, 1971. — 239с.
2. Будко Н.П., Будко П.А., Винограденко А.М. и др. Способ и устройство гибридной коммутации цифровых каналов связи, генератор сетевого трафика и модуль идентификации. Патент на изобретение РФ №2527729 от 10.09.2014.
3. Будко П.А., Емельянов А.В., Калашников С.В.,

- Фомин Л.А., Шлаев Д.В. Генератор искусственного трафика. Патент РФ на изобретение 2339155 от 20.11.08г.
4. Левин Б.Р., Шварц В. Вероятностные модели и методы в системах управления и связи. — М.: Радио и связь, 1985. С. 268.
5. Будко Н.П., Будко П.А., Винограденко А.М. и др. Патент РФ на изобретение №2450335 от 10.05.2012.

*А.Н. Буренин*

кандидат технических наук, доцент, ОАО «НИИ «Рубин»

*А.И. Мясникова*

ООО «Невастрой»

*К.Е. Легков*

кандидат технических наук, Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского

## **ОСНОВНЫЕ ПОДХОДЫ К МОДЕЛИРОВАНИЮ УПРАВЛЕНИЯ СОВРЕМЕННЫМИ ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫМИ СЕТЯМИ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

Мультисервисную сеть связи, как сеть связи следующего поколения, отличают от традиционных моносервисных сетей некоторые особенности, которые следует учитывать при выборе вариантов управления ею [1–3].

Первой особенностью является невозможность полного математического описания (полноценной математической модели) как мультисервисной сети связи в целом, так и отдельных телекоммуникационных сетей в ее составе, при несомненной желательности и настоятельной необходимости в нем.

Второй особенностью является случайность функционирования мультисервисной сети связи, приводящая к трудностям при проведении анализа ее состояния и организации управления сетью. Эта черта обусловлена не только наличием многочисленных специальных источников случайных и преднамеренных помех в сети, но и сложностью сети, которая приводит к множеству всякого рода второстепенных (с точки зрения целей управления) процессов. Вследствие этого функционирование мультисервисной сети связи подчас оказывается «непредвиденным» для системы управления сетью, причем эту «непредвиденность» целесообразно рассматривать как некий случайный фактор и трактовать как зашумленность, чем проводить подробный анализ механизмов воздействия второстепенных процессов на сеть, хотя эта «случайность» может оказаться вовсе и не случайной.

Третьей особенностью является необъяснимая «нетерпимость» к управлению [4, 5]. Эта осо-

бенность является самой неприятной особенностью мультисервисной сети связи. Дело в том, что мультисервисная сеть связи функционирует относительно независимо от системы управления, т. е. сеть предназначается для передачи информации, а не для управления ею. В этом состоит определенное противоречие, которое возрастает, если цели управления не согласованы с целями самой мультисервисной сети связи.

Существенная нестационарность мультисервисной сети связи является четвертой особенностью и вытекает из ее сложности. Она проявляется в дрейфе основных характеристик, т. е. в эволюции телекоммуникационных сетей в составе мультисервисной сети связи во времени, что гарантирует так называемую невоспроизводимость экспериментов, состоящую в различной реакции сети на одну и ту же ситуацию или управление в различные моменты времени. Это обстоятельство нельзя не учитывать при управлении сетью и при построении моделей сети и управления.

Все эти обстоятельства могут привести к тому, что поставленные при проектировании системы управления (если не принять соответствующих мер) цели управления в полной мере никогда не будут достигнуты, так как для реализации управления требуется определенное время, за которое мультисервисная сеть связи изменится непредвиденным образом, в результате чего управление ею наверняка не приведет к желаемому результату.

Под управлением мультисервисной сетью связи далее будем понимать процесс организа-

ции такого целенаправленного воздействия на нее, в результате которого она переходит в требуемое (целевое) состояние [6, 7].

При управлении в качестве модели мульти-сервисной сети связи рассматривается неориентированный регулярный граф без петель  $G(E, B)$  с множеством вершин (узлов мультисервисной сети связи)  $E$  и множеством ветвей (линий связи, пучков цифровых каналов, цифровых трактов, соединяющих узлы сети)  $B = \{b_{ij} | (i, j) \in \Omega_{\text{сг}}\}$ , соединяющих  $\varepsilon$  пар  $(\varepsilon \leq \frac{1}{2} C_Z^2)$  множества  $\Omega_{\varepsilon}$ .

Каждой вершине  $e_i \in E$  приписывается множество обслуживающих элементов  $O_i = \{o_{ix}\}$ , каждый элемент которого характеризуется алгоритмом обслуживания  $x$ -го типа и производительностью  $\rho_{ix}$ , а каждой ветви  $b_{ij}$ , соединяющей  $i$ -ю и  $j$ -ю вершины мультисервисной сети связи, ставится в соответствие значение ее емкости, равной либо количеству цифровых каналов  $n_{ij}$  в пучке с определенной пропускной способностью, которыми располагает данная ветвь, либо ее пропускной способности  $\kappa_{ij}$ , если она представляет собой цифровой тракт. В последнем случае при применении различных протоколов с резервированием пропускной способности или гарантированным качеством предоставления сетевых услуг, цифровой тракт может быть представлен моделью пучка каналов, поэтому, не нарушая общности рассуждения, будем рассматривать ветвь мультисервисной сети связи как пучок цифровых каналов.

В общем случае емкость ветви  $n_{ij}$  сети или пропускная способность ее является переменной величиной, зависящей от управления  $U = \{u_{ij}, (i, j) \in \Omega_v\}$ , выбираемого из множества допустимых значений  $G(U)$ .

Считаем, что на мультисервисную сеть связи поступает многомерный нестационарный поток с параметром  $\Lambda(t) = \{\lambda_{ij}(t) | i, j = \overline{1, N}\}$ . Пусть время, на которое единица информации (пакет, кадр или сообщение) занимает канал (или единицу пропускной способности цифрового тракта), распределено по экспоненциальному закону с параметром  $\mu_i$ . Оценка  $\mu^*$  параметра обслуживания для всего многомерного потока получается взвешенным, пропорционально поступающей нагрузке частных потоков, суммированием и одинакова для всех потоков, не за-

висит от длины пути передачи информации. Величина  $\mu^*$  может существенно отличаться от возможного значения в силу влияния различных программно-аппаратных атак.

Рассмотрим организацию управления мультисервисной сетью связи, когда можно считать поступающую на нее нагрузку близкой к стационарной на интервале времени, сравнимым с интервалом (циклом) управления сетью (т. е. потоки в сети квазистационарные и  $\Lambda(t) = \Lambda \{t \in T_u\} = \Lambda$ ). Ясно, что эта ситуация возможна на достаточно коротких временных интервалах не превышающих цикл управления. Считаем известным априорное распределение параметров нагрузки  $P(\Lambda)$ . Считаем, что функционирование системы управления мультисервисной сетью связи начинается с момента времени  $t_0$ , характеризуемого начальной структурой и распределением каналов (трактов) на сети  $S_0$ , при условии, что к моменту  $t_0$  на сети устанавливается стационарный режим обслуживания. В момент  $t_0$  входящая нагрузка  $\Lambda$  претерпевает скачкообразное изменение, и ее новое значение подчиняется распределению  $P(\Lambda)$ .

Формализованная модель мультисервисной сети связи не полна и задана только определенными соотношениями  $\pi(\Lambda_{ij})$ , позволяющими оценивать качество обслуживания требований (сообщений, пакетов, кадров, ячеек) на ветви  $b_{ij}$ , при известных законе и параметрах поступающей на нее совокупной нагрузки  $\Lambda_{ij}$  (прямой  $\lambda_{ij}$  и транзитной  $\lambda_{ijTP}$ ), т. е.  $\Lambda_{ij} = \lambda_{ij} + \lambda_{ijTP}$  и емкости ветви  $n_{ij}$ .

Процесс управления мультисервисной сетью связи состоит из этапа планирования (получение плана действий) и этапа реализации этого плана. Объектом управления является мультисервисная сеть связи с произвольной организацией обслуживания (с ожиданием и без ожидания, однофазным и многофазным обслуживанием и т. п.). Будем рассматривать класс управлений, удовлетворяющий следующим условиям. Пусть управление содержит квазистатическую и динамическую составляющие, которым соответствует квазистатический план  $Pl_{st}(T_u)$ , неизменяемый в процессе работы сети на период неизменной ее структуры и для данного цикла управления, и динамический план  $Pl_{din}(T_u)$ , являющийся динамически изменяемым. Поступающая на мульти-

сервисную сеть связи нагрузка в первую очередь обслуживается в соответствии с  $Pl_{st}(T_u)$ , а избыточная — в соответствии с  $Pl_{din}(T_u)$ . Например, при организации управления на фрагменте мультисервисной сети связи с коммутацией каналов (в т. ч. виртуальных) в качестве плана  $Pl_{st}(T_u)$  может рассматриваться совокупность прямых путей (пучков каналов, трактов), и обслуживание требований (в том числе и транзитных), поступивших на  $i$ -й узел мультисервисной сети связи и адресованного  $j$ -му узлу, производится в первую очередь по прямому пути, если таковой имеется между данными узлами сети.

Пусть эффективность функционирования телекоммуникационной сети оценивается некоторым функционалом качества  $\Phi$ , зависящим от реализованного на сети динамического плана  $Pl_{din}(T_u)$  (квазистатистический план  $Pl_{st}(T_u)$  считается заданным и неизменным на период планирования). Задачей управления мультисервисной сетью связи является выбор такого оптимального динамического плана  $Pl_{din}(T_u)$ , который обеспечит при заданных нагрузке  $\Lambda$ , структуре сети  $S$  и организации обслуживания требований  $A = \{a_x\}$

$$\text{extr}_{Pl_{din}(T_u)} \Phi = \text{extr} \Phi(\Lambda, S, A, Pl_{din}(T_u)) \quad (1)$$

Таким образом, при фиксированных  $\Lambda_f, U_f$  и  $A_f$  задачу нахождения оптимального плана  $Pl_{din}^o(T_u)$  можно сформулировать как задачу нелинейного программирования, а именно найти  $Pl_{din}^o(T_u) = \left\{ \left\| P_{ik}^{(j)} \right\| \right\}$ , доставляющий  $\text{extr}_{Pl_{din}(T_u) \in B} \Phi(\dots)$  при условии, что область  $B$  задана в виде системы равенств и неравенств:

$$\sum_k P_{ik}^j = 1, \quad i, j = \overline{1, N}, \quad (2)$$

$$\begin{aligned} P_{ik}^j &\geq 0, \quad \Lambda_{ik} = \\ &= \sum_j P_{ik}^j \Lambda_i^j \leq C_{ik}, \quad k \in \Omega(i), \quad \forall i, j = \overline{1, N}, \end{aligned} \quad (3)$$

где  $P_{ik}^j$  и  $C_{ik}$  — соответственно условная вероятность обслуживания требований и пропускная способность ветви  $b_{ik}$ .

Обычно функционал  $\Phi(Pl_{din}(T_u))$  является непрерывно дифференцируемой функцией, при зафиксированном плане  $Pl_{din}^f(T_u)$  и задает время обслуживания требований или вероятность того, что время обслуживания требований не превысит допустимую величину. Функционал качества обслуживания  $\Phi(Pl_{din}(T_u))$  является выпуклым, т. к. при любой организации обслуживания в мультисервисной сети связи производная  $\frac{D\Phi}{D\Lambda_{ik}^j}$  является монотонно неубывающей функцией от  $\Lambda_{ik}^j$ .

Введем значение критической нагрузки для конкретного  $i$ -го узла мультисервисной сети связи, в качестве которой выступает поток  $\Lambda_{kp}^j$ , при котором в оптимальном режиме (при плане  $Pl_{din}^o(T_u)$ ) условная высота узла  $H_i^j = 1$ . По аналогии критическим потоком (нагрузкой) для всей мультисервисной сети связи является входящий поток  $\Lambda_{kp}$ , при котором в оптимальном режиме (при плане  $Pl_{din}^o(T_u)$ ) все высоты равны единице, т. е.  $H_i^j = 1, \forall i, j = \overline{1, N}$ .

Поэтому при заданной структуре мультисервисной сети связи  $S$ , алгоритме обслуживания  $A$  и управлении с планом  $Pl_{din}^o(T_u)$ , пропущенный поток на сети (а, следовательно, и пропускная способность сети) достигает максимума, а время обслуживания требований минимально при условии, что входящий поток  $\Lambda$  равен  $\Lambda_{kp}$ .

С целью предотвращения снижения пропускной способности мультисервисной сети связи при превышении нагрузок своих критических значений ( $\Lambda_i^j > \Lambda_{kp}^j$ ), управление в виде полученного оптимального плана  $Pl_{din}^o(T_u)$  должно ограничивать на каждом узле сети входящий поток  $\Lambda_i^j$  таким образом, чтобы обеспечивать выполнение  $H_i^j = 1$ .

Таким образом, оптимальное управление мультисервисной сетью связи должно включать наряду с подзадачей ограничения выбора исходящих направлений, также подзадачи ограничения нагрузки.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Концептуальные положения по мультисервисным сетям связи РФ. Руководящий документ. Минсвязи и информатизации. М.: 2001 г.
2. **Олифер В.Г., Олифер Н.А.** Компьютерные сети: Принципы, технологии, протоколы. СПб.: Питер, 2000. 668 с.
3. **Лазарев В.Г., Саввин Н.Г.** Сети связи, управление, коммутация. М.: Связь, 1973. 264 с.
4. **Ершов В.А., Ершова Э.Б.** Динамическая маршрутизация в широкополосной мультисервисной АТМ-сети // Электросвязь. 2004. №2. С. 16–18.
5. **Дымарский Я.С., Крутякова Н.П., Яновский Г.Г.** Управление сетями связи: принципы, протоколы, прикладные задачи. М.: Связь и бизнес, 2003. 384 с.
6. **Буренин А.Н.** Об управлении маршрутизацией на основе модифицированных адаптивных методов // Техника средств связи. Сер. ТПС. 1991. № 7. С. 51–59.
7. **Буренин А.Н.** Формализация задач оперативного управления потоками в выделенных мультисервисных сетях связи // Труды IV Российской научно-технической конференции «Новые информационные технологии в системах связи и управления». Калуга: 2005, 17–18 мая. С. 129–132.



*А.М. Винограденко*

кандидат технических наук

Военная академия связи имени Маршала Советского Союза С.М. Будённого

*А.В. Кузнецов*

Военная академия связи имени Маршала Советского Союза С.М. Будённого

## **СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОДВИЖНЫХ ОБЪЕКТОВ**

**АННОТАЦИЯ.** Материал статьи посвящен исследованию вопроса мониторинга технического состояния эксплуатируемых систем и объектов связи военного назначения. Проводится описание процессов снятия измерительной информации о состоянии контролируемых объектов, с учетом приоритета замены (обслуживания), вышедшего из строя электронного модуля этого объекта. Приоритетность заявок на обслуживание, поступающих с датчиков, определена динамикой роста контролируемых параметров объектов к установленным допускам, что дает возможность прогнозировать приоритет поступающей заявки. Представлен граф состояний первой подсистемы моделируемой телеметрической системы, отображающий состояния контролируемых объектов при которых происходит обслуживание заявок разных приоритетов. Особое внимание уделено способу идентификации контролируемых объектов с использованием FRID-технологии, позволяющему создать аппаратно-программную платформу, размещаемую на базе существующих аппаратных технического обслуживания и предназначенной для сбора данных об идентифицируемых мобильных объектах и обработки этих данных.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** автоматизированные измерительные комплексы, аппаратные технического обслуживания, контролируемые объекты, телеметрические системы, датчики.

Анализ применения современных автоматизированных измерительных комплексов (АИК) военного назначения показал необходимость разработки и внедрения в данные комплексы средств автоматизации и телеметрии.

Повышение сложности эксплуатируемых систем и объектов, установленной на них аппаратуры, а также динамики их работы обуславливают необходимость своевременного мониторинга их состояния. Это необходимо для оперативного контроля боевой готовности, автоматизации эксперимента и, в целом, обеспечения операций технического обслуживания (ТО) и ремонта техники связи и автоматизированных систем управления [1].

В настоящее время на снабжении войск связи ВС РФ еще находится более 28-ти типов специализированных аппаратных технического обеспечения (АТО), разработанные в 80–90-х годах прошлого века, которые морально и технически устарели. В частности, эти образцы

предназначены для проведения технического обслуживания и ремонта аналоговой и устаревшей, в том числе, снятой с вооружения техники связи (ТС) и автоматизированных систем управления (АСУ); они являются специализированными по обслуживаемым типам техники, укомплектованы устаревшими образцами средств измерений, в них, практически, отсутствуют средства автоматизации и механизации.

Существующие измерительные системы военного назначения осуществляют передачу измерительной информации без учета предельных состояний (предшествующих аварийным состояниям) контролируемого объекта, характеризуются низкой оперативностью тестирования, а также зачастую не учитывают разноприоритетность каналов различного назначения.

Кроме того, оказывается невозможным текущий контроль состояния объекта и его систем на расстоянии: обнаружение отклонений

контролируемых величин, измерение отклонившихся параметров.

Таким образом, существует необходимость в разработке телеметрической системы (ТМС), которая, в отличие от известных АИК-ов и АТО, должна обладать: а) большей оперативностью тестирования; б) меньшей информационной избыточностью; в) меньшими временными и людскими ресурсами.

Моделируемая многоканальная ТМС включает в себя три подсистемы: 1) подсистему получения данных и формирования сигналов о предельных состоянии контролируемых объектов, 2) подсистему средств и линий связи и 3) подсистему диспетчерского управления. Первая подсистема ТМС состоит из датчиков и контроллеров, осуществляющих регистрацию параметров сигналов и их сравнение с допустимыми пределами [3, 5]. Заявками на обслуживание являются пакеты информационных символов, сформированные на выходе измерительных датчиков в случае выхода значения контролируемого технологического параметра за пределы

установленных допусков [4]. Интенсивность таких заявок определяется количеством датчиков, временными характеристиками контролируемых случайных процессов и числом установленных допусковых уровней для каждого процесса.

Приоритетность заявок на обслуживание, поступающих с датчиков, определяется динамикой роста контролируемого параметра к установленному допуску (рис. 2). Это дает возможность прогнозировать: чем меньше времени до достижения допуска контролируемым параметром, тем выше приоритет заявки [1].

Состояния первой подсистемы ТМС, изображены в виде графа состояний (рис. 3). В нем представлены четыре состояния контролируемого объекта: нормальное (нет заявок), предельное (обслуживание заявок низкого приоритета), предельное (обслуживание заявок высшего приоритета, поступивших в период обслуживания заявок низкого приоритета) и аварийное (обслуживание заявок высшего приоритета).



Рис. 1. Структура предлагаемой ТМС

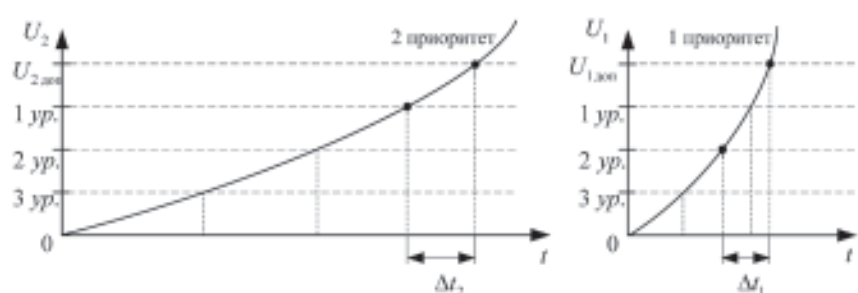


Рис. 2. Сравнение приоритетности заявок в зависимости от динамики выхода контролируемого параметра за допустимые пределы



Рис. 3. Граф состояний системы обслуживания измерительной информации, поступающей с объектов контроля

Реализацию контроля анализируемых параметров в которых вероятность нахождения сигналов тревоги максимальна, т. е. находящихся в наихудших условиях (либо с минимальным значением допустимой вероятности ошибки  $p_{\text{ош.доп}}$ ), можно представить математически.

На множестве  $\{X\}$  требуется найти такую матрицу распределения сигналов тревоги среди контролируемых объектов

$$X^* = \{x_{ij}\}_{N_K, L},$$

где

$$\|x_{ji}\|_{N_K, L} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1i} & \dots & x_{1L} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2i} & \dots & x_{2L} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{j1} & x_{j2} & \dots & x_{ji} & \dots & x_{jL} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{N_K 1} & x_{N_K 2} & \dots & x_{N_K i} & \dots & x_{N_K L} \end{bmatrix}, \quad (1)$$

для которой:

$$F(X^*) = \max_i \prod_{j=1}^L (1 - P_{\text{об}}^{(ij)})^{x_{ij}} \rightarrow \min_{\{X\}}, \quad (2)$$

при условии, что распределению подлежат все  $L$  сигналы тревоги, и каждый вариант тревоги (превышения параметром заданного уровня) может быть назначен для передачи на диспетчерский пункт, то есть

$$\sum_{i=1}^{N_K} \sum_{j=1}^L x_{ij} = L, \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^{N_K} x_{ij} = 1; \quad j = \overline{1, L}. \quad (4)$$

При введении обозначения

$$G_{ij} = -\ln(1 - P_{\text{об}}^{(ij)}), \quad (5)$$

решение задачи равносильно нахождению матрицы  $X^*$ , такой что

$$F(X^*) = \min_i \left[ \sum_{j=1}^L G_{ij} x_{ij} \right] \rightarrow \max_{\{X\}}. \quad (6)$$

Осуществление такого анализа позволяет устройство сигнализации отклонений параметра при допусковом контроле [6], которое обеспечивает повышение быстродействия двухэтапного поиска сигнала тревоги в предлагаемой системе мониторинга путем адаптивного изменения длительности предварительного просмотра каналов передачи сигналов о предельном или аварийном состоянии контролируемых объектов на первом этапе поиска сигнала тревоги. Технический результат достигается за счет работы блока идентификации сигнала тревоги (рис. 4), распознающего сигнал, который превысил заданный пороговый уровень, второго счетчика импульсов, подсчитывающего число каналов, в которых вероятность нахождения сигналов тревоги максимальна, анализируемых на втором этапе контроля, блока анализа двухэтапного поиска сигнала, осуществляющего выбор сигнала по управлению длительности предварительного этапа контроля и формирователя периода последовательности импульсов.

Исходя из того, что архитектура построения современного парка средств связи имеет блочно-модульный характер (консоли), а большинство современных аппаратных и радиостанций узлов связи (полевых узлов связи) оборудуются автоматизированными рабочими местами (АРМ), то, зачастую, вопрос восстановления аппаратуры сводится к замене одного или группы блоков (электронных модулей), которые не входят в комплект ЗИП. АРМ, кроме основной работы, могут отражать динамику работы аппаратуры той аппаратной или радиостанции, в которой он расположен.

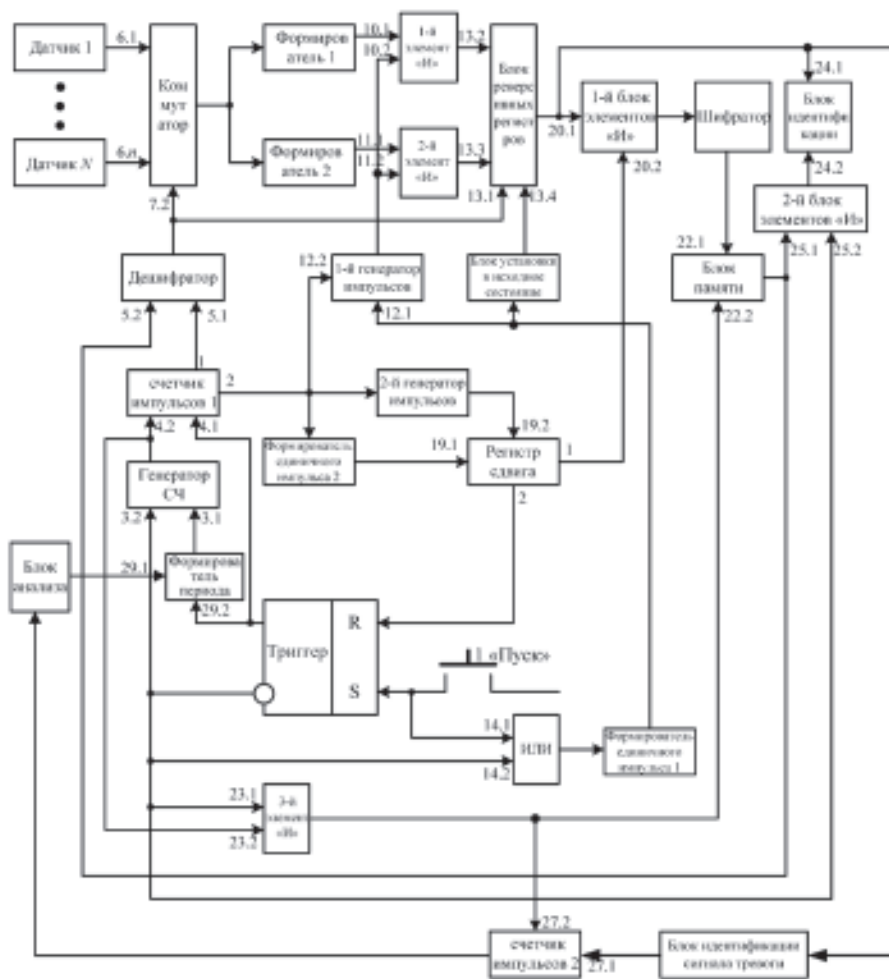


Рис. 4. Структурная схема устройства сигнализации отклонений параметра при допусковом контроле

Оперативность доставки сообщений о предельном состоянии или отказе оборудования заключается в скорости доставки измерительной информации до диспетчерского пункта управления и принятия решения.

При этом остается неснятой проблема оперативной замены блока аппаратуры, находящегося в предельном состоянии или вышедшего из строя (аварийное состояние). В различные моменты времени боевой подготовки (учения, перегруппировка) военная техника связи и автоматизации рассредоточена по местности (полигоны, районы боевого применения, формирования колонн, сосредоточения) в различных вариантах и скорость замены неработоспособного блока будет зависеть от скорости определения местоположения данного объекта и быстрой доставки к нему необходимого блока. Нахождение таких объектов (при движении объ-

ектов, например, при совершении марша) представляется возможным с помощью *FRID*-технологии (*RadioFrequencyIdentification*).

Использование технологии радиочастотной идентификации предполагает наличие трех основных компонентов: 1) радиометки или *FRID*-метки, то есть средства маркировки отслеживаемого объекта; 2) устройства чтения и записи радиометок (считыватель, ридер); 3) серверного программного обеспечения, которое расшифровывает полученную со считывателей информацию о радиометках и представляет ее в формате, подходящем для систем управления, образующих информационную инфраструктуру.

Антенна считывателя излучает электромагнитные волны, которые принимает антенна радиометки. За счет энергии этих волн осуществляется питание чипа, встроенного в метку. В результате этого метка активизируется, вступа-



Рис. 5. Архитектура новой аппаратно-программной платформы

ет в радиообмен для самоидентификации и передает информацию считывающему устройству или производит запись информации, полученной от считывателя, в свою память. Основные компоненты метки — интегральная схема (чип), управляющая связью со считывателем, и антенна.

Возможность считывания информации радиодально в большом расстоянии (до 200 метров) от метки.

*FRID*-метка может размещаться на транспортном средстве в различных местах: на решетке радиатора; на ветровом стекле; в корпусе зеркала заднего вида и бокового зеркала.

Повышение качества идентификации контролируемых объектов достигается за счет совместной реализации *FRID*-технологий и технологий беспроводной связи.

Указанные технологии положены в основу разработки новой аппаратно-программной платформы, размещаемой на базе уже существующих АТО и предназначенной для сбора данных об идентифицируемых мобильных объектах (объектов контроля), обработки этих данных при помощи программных приложений в диспетчерских пунктах

управления и обеспечение взаимодействия с другими платформами и центром управления по различным каналам связи (Wi-Fi, Wi-Max). Архитектура платформы приведена на рис. 5.

В состав аппаратной платформы модуля контроля и идентификации входят два основных узла, которые осуществляют контроль за объектом идентификации и передачи полученной информации в диспетчерский центр управления: приемно-передающее устройство и считыватель *FRID*-меток. Управление всеми узлами платформы осуществляется микропроцессором по трем шинам: управляющей, адресной и шине данных. В качестве дополнительных устройств используются: внутренняя память и коммуникационные порты [2].

Таким образом, моделируемая телеметрическая система позволит осуществлять оперативный контроль за большими группами техники связи военного назначения, повысить не только оперативность выявления предельных состояний радиоэлектронной аппаратуры, но и скорость замены соответствующих электронных модулей с использованием технологии беспроводной связи.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Винограденко А.М.** Разработка способа прогнозирования предаварийного состояния технологических объектов. СПбНТОРЭС, 66-я НТК, 2011 г., стр.161–162.
2. **Вишневский В.М., Титов А.Ю.** Методы и средства детектирования и идентификации транспортных средств в интеллектуальных транспортных системах. Научно-технический и производственный Журнал «Датчики и системы» №9 (184) 09.2014 г. стр. 59–68.
3. **Назаров А.В.** Современная телеметрия в теории и на практике. — Санкт-Петербург: НИТ-Издательство, 2007. — 667 с.
4. **Волков Л.И.** Управление эксплуатацией летательных комплексов. М.: Высшая школа, 1987. -400 с.
5. **Цапенко М.П.** Измерительные информационные системы. — М. «Энергия», 1974. — 320 с.
6. Устройство сигнализации отклонений параметра при допусковом контроле. Заявка на изобретение РФ № 2014146846, дата приоритета 20.11.2014 г.



*С.И. Гарматенко*

кандидат технических наук, доцент

ВУНЦ ВМФ «ВМА имени Адмирала Флота Советского Союза Н.Г. Кузнецова»

*И.С. Гарматенко*

кандидат технических наук, доцент

ВУНЦ ВМФ «ВМА имени Адмирала Флота Советского Союза Н.Г. Кузнецова»

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АИС В ОБЕСПЕЧЕНИИ СОВМЕСТНОГО МАНЕВРИРОВАНИЯ КОРАБЛЕЙ**

**АННОТАЦИЯ.** Несмотря на специфику задач совместного маневрирования, решаемых в основном кораблями ВМФ, с данными задачами сталкиваются все суда, к примеру при проводке конвоев. В данном случае внедрение автоматизированных систем управления кораблем возможно на основе уже существующих средств и систем. Преимущества автоматических идентификационных систем (АИС) в обеспечении безопасности плавания и совместного маневрирования кораблей и судов практически не оставляет сомнения в их использовании в качестве основного источника данных для автоматизированных систем управления кораблем.

В данной работе рассмотрен вопрос математическое обеспечение решения задачи определения и оценки относительной позиции при совместном маневрировании кораблей в строях (ордерах). Кроме этого методом имитационного моделирования исследована возможность централизованного определения координат на совместно маневрирующих кораблях по данным приемоиндикаторов радионавигационных систем. Исследования показали возможность повышения точности определения относительной позиции в обеспечение совместного маневрирования кораблей в строях (ордерах) по данным РНС, что может быть использовано при модернизации АИС и разработке автоматизированных систем управления кораблем.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** совместное маневрирование, автоматическая идентификационная системы, относительная позиция, погрешность координат, корреляционная зависимость.

Эффективное решение задач совместного маневрирования кораблями в строях и ордерах требует от командного (судоводительского) состава значительных навыков и умений в управлении кораблем, оценке позиции и расчете маневра. Использование радиолокационных станций (РЛС) и систем автоматической радиолокационной прокладки (САРП) позволяет в значительной степени автоматизировать выполнение большинства расчетов совместного маневрирования, однако не могут рассматриваться в качестве основы систем автоматизированного управления кораблем при решении данных задач. Причиной этого является низкая точность выработки координат и параметров движения оцениваемых объектов.

Использование автоматической идентификационной системы (АИС) в обеспечении навигационной безопасности плавания и преду-

ждения столкновений кораблей и судов в море стало возможным благодаря повсеместному использованию данной аппаратуры на кораблях и судах. Данные о координатах и параметрах движения поступают в АИС от приемоиндикаторов спутниковых навигационных систем (СНС) отслеживаемых объектов. Это как раз и является преимуществом АИС перед САРП и РЛС: координаты и параметры движения искомых объектов определяются с высокой точностью, а дискретность обмена данными составляет 1, 4 или 12 секунд [1].

Вместе с тем данное преимущество в использовании АИС сохраняется лишь при работе приемоиндикаторов СНС в дифференциальном режиме, характеризующим определением координат объекта с точностью 5–10 метров [2]. Погрешность в координатах, определяемых с использованием РНС значительно выше, что

недопустимо в обеспечении совместного маневрирования.

Возникает задача: определение относительной позиции совместно маневрирующих кораблей в строях (ордерах) с использованием АИС и оценка точности удержания назначенной маневрирующему кораблю позиции. При этом оценивая точность удержания назначенной позиции совместно маневрирующих кораблей в строях (ордерах) необходимо учитывать погрешности ее определения.

Рассмотрим ситуацию совместного маневрирования двух кораблей, один из которых является маневрирующим кораблем М, второй объектом маневрирования (уравнителем) К. Действия командира маневрирующего корабля при совместном маневрировании сводятся к выбору из множества возможных маневров курсом и скоростью  $[K_1 V_1, \dots, K_i V_i, \dots, K_n V_n]$  сектора курсов и скоростей  $[K_{i-j} V_{i-j}, \dots, K_i V_i, \dots, K_{i+j} V_{i+j}]$  исходя из необходимости занятия области назначенных позиций  $\Delta P_H \Delta D_H$  или наиболее эффективного маневра курсом и скоростью  $[K_i V_i]$  для занятия назначенной позиции  $P_H D_H$ . Если такое множество маневров существует, то можно сделать любой выбор, который будет удовлетворять решению задачи [3]:

$$\Delta P_i, \Delta D_i \rightarrow [K_{i-j} V_{i-j}, \dots, K_i V_i, \dots, K_{i+j} V_{i+j}] \rightarrow P_H D_H, \quad (1)$$

где  $\Delta P_i, \Delta D_i$  — некое значение отклонения от назначенной маневрирующему кораблю М позиции, при котором существует необходимость выполнения маневра.

Таким образом выбранный диапазон возможных маневров  $[K_{i-j} V_{i-j}, \dots, K_i V_i, \dots, K_{i+j} V_{i+j}]$  должен соответствовать целевым критериям совместного маневрирования:

- обеспечение удержания или занятия назначенной маневрирующему кораблю позиции  $P_H D_H$  или области назначенных позиций  $\Delta P \Delta D$ ;
- обеспечение безопасности от столкновения;
- выполнение требований руководящих документов в отношении порядка и правил решения задач маневрирования.

Принимая за К место объекта маневра (уравнителя), за М место маневрирующего корабля, за  $M_H$  назначенное место маневрирующему ко-

раблю М относительно объекта маневра (уравнителя) К можно составить следующие формальные соотношения:

$$\vec{R}_M = \vec{R}_K + \vec{D}_{KM}; \quad (2)$$

$$\vec{R}_M = \vec{R}_K + \vec{D}_H - \vec{d}, \quad (3)$$

где  $\vec{R}_K$  — вектор положения объекта маневра (уравнителя) К;  $\vec{R}_M$  — вектор положения маневрирующего корабля М;  $\vec{D}_{KM}$  — вектор относительной позиции совместно маневрирующих кораблей;  $\vec{D}_H$  — вектор назначенной позиции маневрирующего корабля М относительно объекта маневра (уравнителя) К;  $\vec{d}$  — отклонения от назначенной маневрирующему кораблю М позиции.

Вместе с тем позиция маневрирующего корабля М относительно объекта маневра К характеризуется наличием случайной ошибки, связанной с погрешностью ее определения. Точность удержания позиции маневрирующим кораблем М относительно объекта маневра К оценим по значению линейного отклонения  $d$  от назначенной маневрирующему кораблю М позиции и погрешности  $\sigma$  ее определения (рис. 1), используемые также для оценки вероятности попадания места в область, в случае если фактическая позиция не совпала с центром области допустимых позиций [4].

Для математического описания задачи примем следующие допущения:

- а) случайные погрешности координат совместно маневрирующих кораблей подчиняются нормальному закону распределения;
- в) движение совместно маневрирующих кораблей осуществляется с равными значениями скорости и одинаковыми курсами, влияние ГМУ не учитывается;
- г) смещение позиции маневрирующего корабля М относительно объекта маневра (уравнителя) К происходит в следствии наличия случайных погрешностей координат совместно маневрирующих кораблей;
- д) движение совместно маневрирующих кораблей линейно, участки разгона и потери скорости при циркуляции не учитываются.

Расчет значения линейного отклонения  $d$  маневрирующего корабля от назначенной ему позиции по известным координатам осуществляется по формуле:

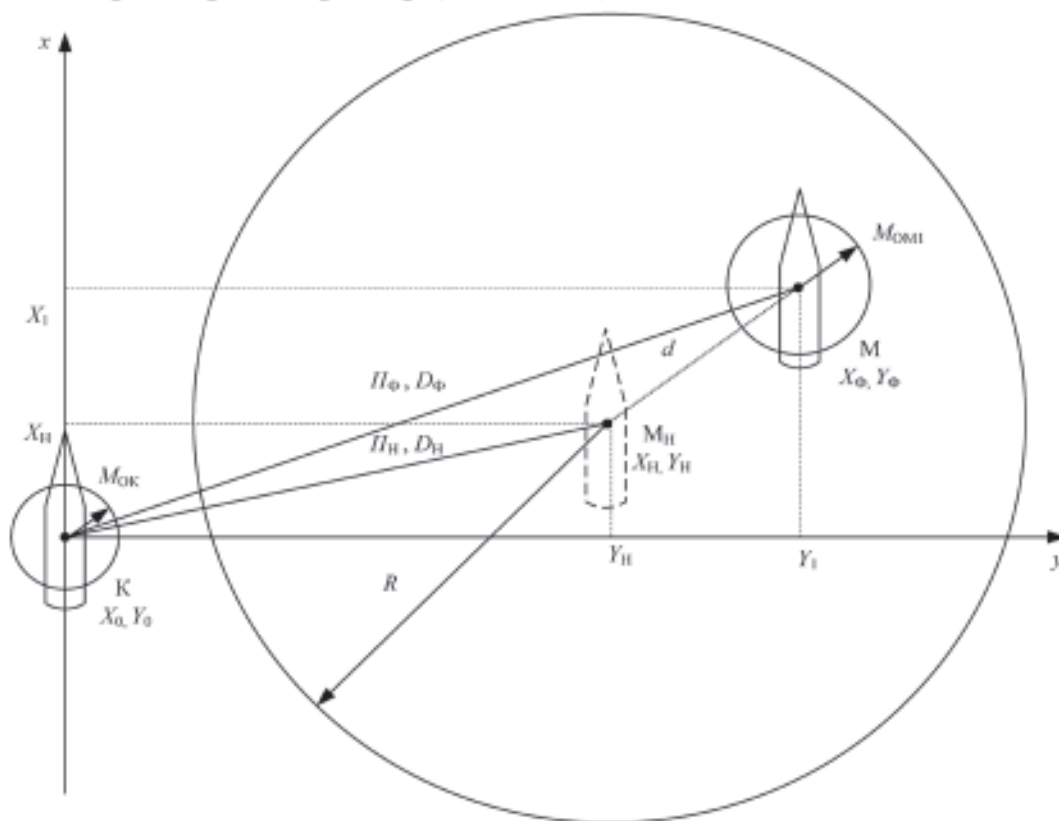


Рис. 1. Положения совместно маневрирующих кораблей

$$d = \sqrt{(X_H - X_\Phi)^2 + (Y_H - Y_\Phi)^2}, \quad (4)$$

где  $X_H, Y_H$  — координаты назначенной позиции маневрирующего корабля относительно объекта маневра;  $X_\Phi, Y_\Phi$  — координаты фактической позиции маневрирующего корабля.

Для определения погрешности линейного отклонения  $d$  воспользуемся формулой средней квадратической погрешности функции вида  $z = f(x, y, \dots, n)$  [5]:

$$\sigma_z = \sqrt{\left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)^2 \sigma_x^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial y}\right)^2 \sigma_y^2 + \dots + \left(\frac{\partial z}{\partial n}\right)^2 \sigma_n^2}, \quad (5)$$

где  $x, y, \dots, n$  — измеряемые параметры, а  $\sigma_x, \sigma_y, \dots, \sigma_n$  — значения их погрешностей.

При расчете частных производных исходим из того, что погрешность назначенной позиции соответствует погрешности места объекта маневра получим:

$$\frac{\partial d}{\partial X_H} = -\frac{X_H - X_\Phi}{\sqrt{(X_H - X_\Phi)^2 + (Y_H - Y_\Phi)^2}}; \quad (6)$$

$$\frac{\partial d}{\partial X_H} = \frac{X_H - X_\Phi}{\sqrt{(X_H - X_\Phi)^2 + (Y_H - Y_\Phi)^2}}; \quad (7)$$

$$\frac{\partial d}{\partial Y_\Phi} = \frac{Y_H - Y_\Phi}{\sqrt{(X_H - X_\Phi)^2 + (Y_H - Y_\Phi)^2}}; \quad (8)$$

$$\frac{\partial d}{\partial Y_H} = -\frac{Y_H - Y_\Phi}{\sqrt{(X_H - X_\Phi)^2 + (Y_H - Y_\Phi)^2}}. \quad (9)$$

Тогда формула расчета погрешности линейного отклонения от назначенной позиции будет иметь вид:

$$\sigma_d = \sqrt{\left(\frac{X_H - X_\Phi}{\sqrt{(X_H - X_\Phi)^2 + (Y_H - Y_\Phi)^2}}\right)^2 \sigma_{X_\Phi}^2 + \left(\frac{Y_H - Y_\Phi}{\sqrt{(X_H - X_\Phi)^2 + (Y_H - Y_\Phi)^2}}\right)^2 \sigma_{Y_H}^2 + \dots}$$

$$\sqrt{\left[ \frac{Y_H - Y_\Phi}{\sqrt{(X_H - X_\Phi)^2 + (Y_H - Y_\Phi)^2}} \right]^2 \sigma_{Y_\Phi}^2 + \left[ \frac{Y_H - Y_\Phi}{\sqrt{(X_1 - X_H)^2 + (Y_H - Y_\Phi)^2}} \right]^2 \sigma_{Y_H}^2} \quad (10)$$

Исходя из того, что  $\sigma_{X_\Phi}, \sigma_{Y_\Phi}$  и  $\sigma_{X_H}, \sigma_{Y_H}$  значения погрешностей ортогональных составляющих координат мест совместно маневрирующих кораблей, для оценки относительной позиции будем использовать средние квадратические отклонения (СКО) с значениями  $\sigma_{X_\Phi} = \sigma_{Y_\Phi} = \sigma_M$  и  $\sigma_{X_H} = \sigma_{Y_H} = \sigma_K$ , что обусловлено выдачей с приемоиндикаторов СНС через АИС значений погрешностей координат места без расчета эллипса погрешностей или учета геометрического фактора.

Тогда формула (10) окончательно примет вид:

$$\sigma_d = \sqrt{\sigma_K^2 + \sigma_M^2} \quad (11)$$

Вероятность удержания назначенной позиции может быть определена по формуле [4, 5]:

$$P(r, h) = \left[ \exp\left(-\frac{h^2}{2}\right) \right] \int_0^r \left[ \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) \right] I_0(ht) dt \quad (12)$$

$$h = \frac{d}{\sigma_d} \quad (13)$$

$$r = \frac{R}{\sigma_d} \quad (14)$$

где  $P(r, h)$  — вероятности попадания в плоскую область радиусом  $R$  с центром рассеивания, отстоящим от центра круга на расстоянии  $d$ ;  $R$  — радиус области допустимых позиций;  $I_0$  — функция Бесселя первого рода нулевого порядка мнимого аргумента;  $\sigma_d$  — СКО случайной погрешности отклонения от назначенной позиции.

Вместе с тем для определения относительной позиции при совместном маневрировании кораблей с использованием АИС возможно использование данных от приемоиндикаторов радионавигационных систем (РНС). Существенным недостатком в использовании приемоиндикаторов РНС является значительное, в сравнении с СНС в дифференциальном режиме значение погрешности определения координат (табл. 1, табл. 2).

Таблица 1

**Возможности использования СНО при решении задач в зоне стесненного плавания, при плавании вблизи берегов и навигационных опасностей и малых дистанциях между совместно маневрирующими кораблями**

Последовательность использования СНО	СНО района и сил	РСКП определения места, метры
1	РЛС и визуальные способы	20–80
2	СНС «ГЛОНАСС»	20–40
3	РНС БРАС	20–0
4	РНС МАРС-75	85–500

Таблица 2

**Возможности использования СНО при плавании в открытом море и совместном маневрировании на значительном удалении друг от друга**

Последовательность использования СНО	СНО района и сил	РСКП определения места, метры
1	СНС «ГЛОНАСС»	20–40
2	РНС МАРС-75	85–500
3	РНС РСДН-3,4,5	170–2000

Значительного уменьшения погрешности относительной позиции можно добиться увеличив корреляционную связь между погрешностями обсерваций на совместно маневрирующих кораблях [9, 14, 15]. Данный эффект достигается производством централизованных измерений путем выбора единого созвездия навигационных спутников СНС или цепей РНС и пар станций ВЩ–ВМ для обсервации. При определении координат с разницей по времени около 1 секунды обеспечивается значение коэффициента корреляции случайных погрешностей координат, близкое к 1.

Расчет элементов относительной позиции ( $P_\Phi$  и  $D_\Phi$ ) с учетом случайных погрешностей координат маневрирующего корабля К, корреляционно зависимых с случайными погрешностями координат объекта маневра (уравнителя) М, основан на теореме предсказания [12], в соответствии с которой можно предсказать значение случайной величины  $x(t + \tau)$  в момент времени  $(t + \tau)$ , если известны ее текущее значение  $x(t)$ , автокорреляционная функция  $\rho_x(\tau)$  и вспомогательная случайная величина  $y(t)$ , некоррелированная с  $x(t)$ , с нулевым математическим ожиданием и со СКО  $\sigma$  равным СКО случайной величины  $x(t)$   $\sigma_x$ , т. е.:

$$x(t + \tau) = \rho_x(\tau) \cdot x(t) + \sqrt{1 - \rho_x^2(\tau)} \cdot y(t). \quad (15)$$

Следовательно, на один и тот же момент времени (шаг моделирования) можно предсказать значение случайной величины  $\Delta X_1$ , если известно значение другой случайной величины  $\Delta X_0$ , коэффициент корреляции между ними  $r_1$  и значение вспомогательной случайной величины  $\Delta X_{n1}$ , некоррелированной с  $\Delta X_1$  [10, 12]:

$$\Delta X_1 = r_1 \Delta X_0 + \sqrt{1 - r_1^2} \cdot \Delta X_{n1}. \quad (16)$$

Для получения корреляционно зависимых случайных погрешностей координат маневрирующего корабля К и объекта маневра (уравнителя) М рассчитываются коэффициенты:

$$a_1 = \sigma_1 \sqrt{1 - r_1^2}; \quad (17)$$

$$b_1 = r_1, \quad (18)$$

где  $\sigma_1$  — СКО случайной погрешности координат маневрирующего корабля К;  $r_1$  — коэффициент корреляции случайных погрешностей координат маневрирующего корабля К и объекта маневра (уравнителя) М.

Случайные погрешности координат маневрирующего корабля К, корреляционно зависимые с случайными погрешностями координат объекта маневра (уравнителя) М будут определяться:

$$\Delta X_1 = \Delta X_0 \cdot b_1 + \Delta X_{n1} \cdot a_1; \quad (19)$$

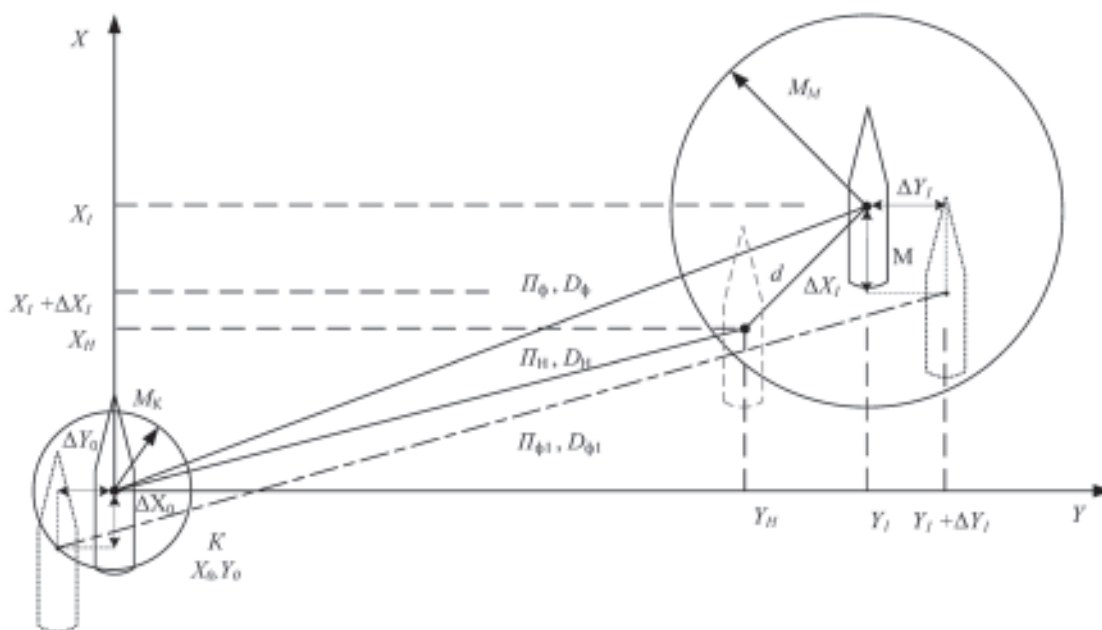


Рис. 2. Позиции совместно маневрирующих кораблей, определяемые случайными погрешностями координат



$$\Delta Y_1 = \Delta Y_0 \cdot b_1 + \Delta Y_{П1} \cdot a_1, \quad (20)$$

где  $\Delta X_{П1}$ ,  $\Delta Y_{П1}$  — вспомогательные случайные величины, некоррелированные с случайными погрешностями координат объекта маневра (уравнителя)  $M \Delta X_0$ ,  $\Delta Y_0$  и распределенные по нормальному закону, с математическим ожиданием равным нулю и со СКО, соответствующим РСКП места маневрирующего корабля К.

Оценка влияния корреляционной зависимости координат совместно маневрирующих кораблей на точность определения относительной позиции производилось методом имитационного моделирования. Моделирование корреляционно независимых случайных погрешностей координат совместно маневрирующих кораблей произведено с использованием стандартной функции программной среды Mathcad (gnorm(N,mu,sigma)) [11], выдающей  $N$  случайных чисел, распределенных по нормальному закону распределения, с математическим ожиданием  $\mu$  и СКО  $\sigma$ . Математическое ожидание  $\mu$  принято равным нулю, СКО  $\sigma$  — РСКП координат маневрирующего корабля К  $\sigma_K = \frac{M_K}{\sqrt{2}}$  и РСКП координат объекта

маневра (уравнителя)  $M \sigma_M = \frac{M_M}{\sqrt{2}}$  [9, 10].

Расчет элементов относительной позиции совместно маневрирующих кораблей производится по формулам (рис. 2):

$$P_\phi = \arctg \left( \frac{(Y_1 + \Delta Y_0 b_1 + \Delta Y_{П1} a_1) - (Y_0 + \Delta Y_0)}{(X_1 + \Delta X_0 b_1 + \Delta X_{П1} a_1) - (X_0 + \Delta X_0)} \right); \quad (21)$$

$$D_\phi = \frac{\sqrt{[(X_1 + \Delta X_0 b_1 + \Delta X_{П1} a_1) - (X_0 + \Delta X_0)]^2 + [(Y_1 + \Delta Y_0 b_1 + \Delta Y_{П1} a_1) - (Y_0 + \Delta Y_0)]^2}}{\sqrt{[(X_1 + \Delta X_0 b_1 + \Delta X_{П1} a_1) - (X_0 + \Delta X_0)]^2 + [(Y_1 + \Delta Y_0 b_1 + \Delta Y_{П1} a_1) - (Y_0 + \Delta Y_0)]^2}} \quad (22)$$

Оценка влияния корреляционной зависимости случайных погрешностей координат совместно маневрирующих кораблей на точность определения относительной позиции производилась методом имитационного моделирования и определялась по значению отклонения от назначенной позиции, определяемого формулой:

$$d = \sqrt{D_H^2 + D_\phi^2 - 2D_H D_\phi \cos \Delta П}. \quad (23)$$

Проведенные исследования показали, что:

1) при определении координат совместно маневрирующих кораблей централизованным способом по РНС БРАС точность определения относительной позиции с использованием АИС при  $\Delta \tau = 1$  секунда возросла в 2,3 раза, выигрыш в точности определения относительной позиции составил 57 %, а при  $\Delta \tau = 4$  секунды в 1,18 раза выше, чем при определении относительной позиции в дифференциальном режиме работы СНС NAVSTAR GPS и (или) ГЛОНАСС, выигрыш в точности определения относительной позиции составил 14,7 %;

2) при определении координат совместно маневрирующих кораблей централизованным способом по РНС БРАС точность определения относительной позиции с использованием АИС при  $\Delta \tau = 1$  секунда возросла в 11,6 раза, выигрыш в точности определения относительной позиции составил 91 %, а при  $\Delta \tau = 4$  секунды в 5,8 раза выше, чем при определении относительной позиции в стандартном режиме работы СНС NAVSTAR GPS и (или) ГЛОНАСС, выигрыш в точности определения относительной позиции составил 83 %;

3) при определении координат совместно маневрирующих кораблей централизованным способом по РНС МАРС точность определения относительной позиции с использованием АИС при  $\Delta \tau = 1$  секунда возросла в 3,6 раза, выигрыш в точности определения относительной позиции составил 72 %, а при  $\Delta \tau = 4$  секунды в 1,8 раза выше, чем при определении относительной позиции в стандартном режиме работы СНС NAVSTAR GPS и ГЛОНАСС, выигрыш в точности определения относительной позиции составил 42 %;

4) при определении координат совместно маневрирующих кораблей централизованным способом по РНС РСДН-20 точность определения относительной позиции с использованием АИС при  $\Delta \tau = 1$  секунда возросла в 4,7 раза, выигрыш в точности определения относительной позиции составил 79 %, а при  $\Delta \tau = 4$  секунды в 1,2 раза выше, чем при определении относительной позиции в стандартном режиме работы СНС NAVSTAR GPS и ГЛОНАСС, выигрыш в точности определения относительной позиции составил 16 %.

Полученные результаты могут быть реализованы при дальнейшей модернизации АИС и расширения ее функциональных возможностей в целях создания автоматизированных систем

управления кораблем при решении задач совместного маневрирования. В настоящее время для обеспечения централизованных измерений необходимо в ручном режиме производить на-

стройку приемоиндикаторов для выбора типа РНС, цепей пар ВЩ-ВМ на совместно маневрирующих кораблях для определения относительной позиции с использованием АИС.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Маринич А.Н., Проценко И.Г., Резников В.Ю., Устинов Ю.М., Черняев Р.Н., Шигабутдинов А.Р.** Под общ. ред. Устинова Ю.М. Судовая автоматическая идентификационная система. — СПб.: Судостроение, 2004. — 180 с. — ISBN 5-7355-0614-2.
2. Навигационная аппаратура потребителей спутниковых радионавигационных систем ГЛОНАСС и NAVSTAR «Бриз-ПЛ». Руководство по эксплуатации. ТДЦК.461513.026 РЭ. — СПб.: КБ НАВИС-М, 2002. — 73 с.
3. **Антонович К.М.** Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии [Текст]. В 2 т. Т. 2. Монография / К.М. Антонович; ГОУ ВПО «Сибирская государственная геодезическая академия». — М.: ФГУП «Картгеоцентр», 2006—360 с.: ил. А11 ISBN 5-86066-077-4.
4. **Абчук В.А., Матвейчук Ф.А., Томашевский Л.П.** Справочник по исследованию операций — М.: Воениздат, 1979—368 с. с ил.
5. **Вентцель Е.С.** Теория вероятностей и ее инженерное приложение — М.: Наука, 1988—427 с.
6. **Вагущенко Л.Л., Вагущенко Л.А.** Поддержка решений по расхождению с судами. Одесса.: Феникс. 2010. — 229 с.
7. Резолюция ИМО А.917(22) от 29 ноября 2001 г. Руководство по эксплуатации на судах морской Автоматической Идентификационной Системы (АИС).
8. **Михайлов С.А., Орлов Е.О.** Методика расчета параметров сближения судов с использованием информации АИС. Одесса.: ОНМА им Попова 2009, Сборник научных трудов, выпуск 16 «Судовождение», стр 113—123.
9. **Нахатович Л.А., Чичин М.А., Шарапов К.И., Ярошенко С.А.** Управление штурманской службой при ведении операций и боевых действий силами ВМФ (часть I): учебное пособие. — СПб.: ВМА, 2003. — 116 с.
10. **Кабиров Р.С., Филонов Л.И., Тихонов А.Ю.** Организация навигационно-гидрографического и гидрометеорологического обеспечения боевых действий соединений кораблей ВМФ, часть 2: учеб. пособие. — СПб.: ВМА им. Кузнецова Н.Г., 2004. — 208 с.
11. **Дьяконов В.П.** MathCAD в математике: справочник. М.: Телеком, 2007. — 960 с.
12. **Луконин В.П.** Теория обработки навигационной информации: учебное пособие. — СПб.: ВУНЦ ВМФ «ВМА», 2010. — 295 с.
13. **Михайлов С.А., Орлов Е.О.** Оценка погрешностей расчета параметров сближения судов по данным АИС. // Материалы X научно-практической конференции «Практические проблемы развития радиосвязи и радионавигации в ГМЗЛБ, в системах АИС, САРП и РЛС». — ОНМА им Попова, 2009 г. — С. 45—47.
14. **Гарматенко И. С.** Способ повышения точности позиционирования кораблей при совместном маневрировании. Красноярск: ФГАОУ ВПО Сибирский федеральный университет, Матер. Всероссийской науч.-технич. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых «Современные проблемы радиоэлектроники», 2014.
15. **Гарматенко И. С.** Способ повышения точности определения относительной позиции при совместном маневрировании кораблей с использованием автоматизированной информационной системы (АИС) по данным радионавигационных систем (РНС) СПб.: институт радиотехники и электроники им. В. А. Котельникова, журнал «Радиоэлектроника», ISSN 1684-119, №6, 2014. <http://jre.cplire.ru/jre/jun14/7/text.html>

*Д.А. Голушко*

ОАО «Научно-производственное предприятие «Рубин» г. Пенза

*А.В. Затылкин*

кандидат технических наук, доцент  
ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет»

*Н.К. Юрков*

доктор технических наук, профессор  
ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет»

## МЕТОДИКА ИНДИКАЦИИ РЕЗОНАНСОВ КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ЭС

**АННОТАЦИЯ:** В статье проведен анализ существующих методов определения динамических характеристик конструкции при индикации резонансов аналоговыми устройствами и предложена методика позволяющая повысить достоверность частотных характеристик объекта исследования в области низких частот за счет уменьшения погрешности преобразования измеренного переменного сигнала в эффективное значение.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** вибрация, пульсации, постоянная времени, время установления, эффективное значения.

Сигналы постоянного тока полностью определяются их величиной и полярностью. Измерять параметры сигналов переменного тока намного сложнее. Для извлечения максимума информации о переменном сигнале необходимо получить ряд его выборок с частотой дискретизации, которая должна быть как минимум вдвое выше максимальной частоты спектра сигнала. После обработки полученного набора значений можно получить некоторую совокупность параметров, полностью описывающих исходный сигнал. Однако при преобразовании временного интервала, который содержит информацию о измеряемом процессе, в цифровом измерительном устройстве возникает погрешность квантования по времени. Эта погрешность носит случайный характер и не превышает одного шага квантования. Для определения динамических характеристик конструкции достаточно получить менее емкую характеристику — зависимость амплитуды виброперемещения (виброскорости) во времени. Для представления амплитуды сигнала используется три параметра: пиковое, средневыпрямленное и эффективное

значения. Под средневыпрямленным значением понимается среднее значение выпрямленного сигнала переменного тока:

$$E_{cp} = \frac{1}{t_{cp}} \int_{t=0}^{t_{cp}} |e(t)| dt$$

где  $e(t)$  представляет собой сигнал переменного тока, а  $t_{cp}$  — временной интервал, за который определяется среднее значение; обычно  $t_{cp}$  намного больше периода сигнала  $T$ .

Среднеквадратичное значение является наиболее важным параметром для определения величины сигнала. Этот параметр равен корню квадратному из среднего значения квадрата сигнала:

$$E_{эф} = \sqrt{\frac{1}{t_{cp}} \int_{t=0}^{t_{cp}} e(t)^2 dt}$$

Преобразователь переменного напряжения в эффективное является нелинейным узлом, на вход которого подается переменный сигнал, а на выходе вырабатывается постоянное напряжение,

поэтому его частотная характеристика определяется как зависимость погрешности преобразования (в процентах) от частоты входного сигнала. Низшая рабочая частота преобразователя должна быть на много больше, чем  $1/\tau$ , где  $\tau$  постоянная времени сглаживания схемы, выбор которой, как правило, определяется компромиссом между амплитудой пульсаций на выходе и быстродействием.

В случае если частота сигнала известна, и требуется определить только амплитуду на этой частоте, достаточно дискретизировать эффективное значение с помощью АЦП с частотой достаточной для построения АЧХ. ГОСТ 30630.1.1-99 при испытаниях для определения динамических характеристик конструкции методом плавного изменения частоты регламентирует значение скорости изменения частоты равное одной-двум октавам в минуту. Если проводить сканирование широкого диапазона частот (например от 10 Гц до 1 кГц и более) с такой скоростью за одну итерацию и одним устройством, то на низких частотах сглаживающий фильтр преобразователя не обеспечит эффективного усреднения, и на выходе появятся значительные пульсации и погрешность постоянного уровня. ГОСТ 30630.1.1-99 при испытаниях для определения динамических характеристик на частотах ниже 10 Гц допускает при значениях частот от 1 до 50 Гц устанавливать значение скорости изменения частоты 10 Гц / мин. В поддиапазоне 40–50 Гц это обосновано, т. к. увеличивается время измерения. При использовании метода ступенчатого изменения частоты при частотах, значения которых составляют 10 Гц и менее, испытания проводят на фиксированных частотах при продолжительности выдержки на каждой частоте в пределах 10–30 секунд.

Несмотря на то, что обычно усреднение в преобразователе в эффективное значение осуществляется простым RC-фильтром, реакция на скачкообразное изменение входного сигнала не описывается экспоненциальной функцией. Время установления  $t_{уст}$  выходного напряжения с точностью до  $\varepsilon$  от установившегося значения:

$$t_{уст} = \tau \ln \frac{1}{2\varepsilon}$$

Однако реакция на снижение уровня входного сигнала почти в два раза медленнее:

$$t_{уст} = 2\tau \ln \frac{1}{\varepsilon}$$

Таким образом при допустимой точности в 1 % в рабочем поддиапазоне (средние частоты) время установления при снижении уровня составит приблизительно 10 $\tau$ .

Количество периодов в определенном частотном поддиапазоне за время измерения  $t_{изм}$ :

$$N = \frac{t_{изм} (f_H + f_K)}{2}$$

При скорости изменения частоты в одну октаву за минуту на поддиапазоне от 10 до 20 Гц  $N$  составит 900 периодов измеряемого сигнала. Экспериментальные исследования по анализу колебательных характеристик печатных плат показали, что на интервале 1/60 октавы при резонансах с высокой добротностью изменения уровней АЧХ достигают 1 dB. Т. е. за время установления равное одной секунде измеряемый сигнал может измениться на 10 %. При скорости изменения частоты 1 октава в минуту быстродействия преобразователя с временем установления 1 секунда недостаточно. За одну секунду в испытательном сигнале (10–20 Гц) уложится в среднем 15 периодов, что явно недостаточно для преобразования в эффективное значение с приемлемой погрешностью.

Пульсации и погрешность выходного уровня можно уменьшить, увеличивая постоянную времени фильтра, но при этом ухудшается быстродействие схемы. При выборе слишком большого значения выходной сигнал будет хорошо отфильтрован, но схема будет медленнее реагировать на изменения входного сигнала. Следовательно, на низких частотах приходится выбирать — увеличить ли постоянную времени сглаживания, что обеспечит хорошую точность, но замедленную реакцию на изменения входного сигнала, или оставить малую постоянную времени, т. е. быструю реакцию, но ухудшить точность.

Для устранения этого противоречия при проведении испытаний за одну итерацию одним устройством с получением в результате непрерывного спектра частот конструкции в заданном частотном диапазоне предлагается при формировании испытательного сигнала на низких частотах уменьшить скорость изменения частоты до значения 100 периодов за поддиапазон соответствующий  $t_{уст}$  и равный 0.01 октавы. Такая скорость изменения частоты соответствует скорости одна октава в ми-

нута на частотах в области 160 Гц. При частотах, значения которых составляют менее 160 Гц испытания предлагается проводить методом ступенчатого изменения частоты по ГОСТ 30630.1.1–99 путем плавного изменения значения частоты от нижней фиксированной частоты  $f_H$  до следующей более высокой фиксированной частоты  $f_B$  за время прохождения каждого диапазона  $t_{\text{изм}}$ :

$$t_{\text{изм}} = \frac{5000}{(f_H + f_B)}$$

Для повышения быстродействия с повышением частоты предлагается устанавливать постоянную времени в соответствии с управляющим сигналом генератора равную десяти периодам во всем диапазоне частот испытаний:

$$\tau = 10T .$$

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 30630.1.8–2002.
2. А. Дж. Пейтон, В. Волш //Аналоговая электроника на операционных усилителях — М.: БИНОМ, 1994—352 с.



*Я.Н. Гусеница*

кандидат технических наук, Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского

## **МЕТОД ЭКСПЕРТИЗЫ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВООРУЖЕНИЯ, ВОЕННОЙ И СПЕЦИАЛЬНОЙ ТЕХНИКИ**

**АННОТАЦИЯ.** Изложен метод экспертизы программного обеспечения вооружения, военной и специальной техники, который, в отличие от существующих методов, не требует одновременного участия в реальном масштабе времени экспертов в области инженерии программного обеспечения вооружения, военной и специальной техники, а также не допускает лоббирование результатов экспертизы в интересах отдельных людей и организаций. Кроме того метод позволяет увеличить количество обнаруженных ошибок в программном обеспечении вооружения, военной и специальной, а, следовательно, повысить надежность этого программного обеспечения.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** вооружения, военная и специальная техника, экспертиза программного обеспечения, программные ошибки.

В настоящее время программное обеспечение (ПО) является неотъемлемой составной частью практически любого современного вооружения, военной и специальной техники (ВВСТ). Вместе с тем совершенствование ВВСТ сопровождается заметной тенденцией к росту сложности ПО. Причем усложнение ПО становится причиной появления в нем значительного количества ошибок, наличие которых способствует снижению не только уровня надежности ПО, но и эффективности применения ВВСТ. Поэтому исследования, направленные на определение программных ошибок и повышение надежности ПО ВВСТ, являются весьма актуальными.

Сейчас для определения программных ошибок и повышения надежности ПО ВВСТ в ходе различных видов испытаний ВВСТ проводится тестирование их ПО. Однако мировой опыт в области программной инженерии показывает, что тестирование ПО позволяет обнаружить 15–55 % от предполагаемого количества всех программных ошибок [2].

Известным подходом к улучшению результативности обнаружения программных ошибок является проведение крупномасштабного бета-тестирования ПО. Данный подход позволяет обнаружить 60–85 % от предполагаемого количества всех программных ошибок [2]. Но проведение крупномасштабного бета-тестирования ПО сопряжено с рядом трудностей, которые за-

ключаются в необходимости привлечения более 1000 независимых организаций, специализирующихся на тестировании ПО. Следовательно, использование данного подхода подразумевает расход значительных затрат финансовых, людских и временных ресурсов, не говоря о необходимости обеспечения защиты государственной тайны в этих организациях.

Другим возможным подходом к улучшению результативности обнаружения программных ошибок является проведение экспертизы ПО. Доказано, что в результате экспертизы ПО обнаруживается 60–90 % от предполагаемого количества всех программных ошибок. А совместное использование тестирования и экспертизы ПО позволяет обнаружить практически все программные ошибки [2, 4–11].

Тем не менее, экспертизы не проводятся для обнаружения программных ошибок и повышения надежности ПО ВВСТ. Кроме того анализ существующих методов экспертизы ПО показывает, что они не учитывают характерных особенностей разработки и контроля качества ПО ВВСТ в организациях отечественного оборонно-промышленного комплекса. В частности, существующие методы предполагают одновременное участие в реальном масштабе времени нескольких экспертов в области инженерии ПО ВВСТ. Это в свою очередь требует идеальной согласованности графиков занятости всех экспертов,

что является практически нереализуемой задачей. Экспертов в данной области достаточно трудно собрать в одном месте, в одно время, т. к. они достаточно востребованы и практически не имеют свободного времени. Сложности могут возникнуть и с подбором экспертов, которые были бы не заинтересованы в конечном результате, т. к. существующие методы допускает лоббирование результатов экспертизы в интересах отдельных людей и организаций. Заинтересованный эксперт может навязывать свою точку зрения и убеждать остальных экспертов в своей правоте, что является крайне недопустимым при создании и модернизации любого ВВСТ.

Вышеприведенные недостатки не являются единственными, но они основополагающие. Поэтому разработан метод экспертизы ПО ВВСТ, который, в отличие от существующих методов экспертизы ПО, не требует одновременного участия в реальном масштабе времени нескольких экспертов в области инженерии ПО ВВСТ, а также не допускает лоббирование результатов экспертизы в интересах отдельных людей и организаций.

Метод экспертизы ПО ВВСТ подразумевает наличие следующих этапов, представленных на рис. 1:

1. Определение требований к экспертизе.
2. Формирование экспертной группы.
3. Разработка контрольных списков.
4. Интуитивное определение ошибок в ПО.
5. Получение индивидуальных оценок результатов интуитивного определения ошибок в ПО.
6. Получение групповых оценок результатов интуитивного определения ошибок в ПО.
7. Оценивание достоверности результатов экспертизы.
8. Оценивание соответствия требований и результатов экспертизы.
9. Формирование достоверных результатов экспертизы.

Определение требований к экспертизе предполагает выбор допустимых значений для длительности проведения и достоверности результатов экспертизы. Выбор данных значений осуществляется представителями заказчика ПО ВВСТ.

Формирование экспертной группы подразумевает привлечение потенциальных экспертов, являющихся специалистами в области инженерии ПО. При этом на основе критериев и шкал,

представленных в табл. 1, каждый  $j$ -й эксперт оценивается коэффициентом компетентности с помощью следующего выражения [2]:

$$q_j = \frac{\sum_{l=1}^L B_{jl}}{\sum_{l=1}^L B_{l\max}},$$

где  $B_{jl}$  — вес  $j$ -го эксперта по  $l$ -му критерию;  $B_{l\max}$  — предельный вес  $l$ -го критерия;  $L$  — общее количество критериев.

Численность группы экспертов определяется из условия [1]:

$$\xi \leq m \leq \frac{3 \cdot \sum_{j=1}^J q_j}{2 \cdot q_{\max}}, \quad (1)$$

где  $q_{\max} = 1$  — максимально возможное значение коэффициента компетентности экспертов;  $\xi$  — количество затрагиваемых срезов инженерии ПО.

Если условие (1) не выполняется, то в экспертную группу привлекается еще один или несколько экспертов. В результате формируется экспертная группа, которая характеризуется матрицей-строкой компетентности:

$$Q = (q_j)_{j=1..J} = (q_1, q_2, \dots, q_J).$$

Разработка контрольных списков предполагает создание списка вопросов, позволяющих экспертам определить программные ошибки. Создание списка данных вопросов осуществляется представителями заказчика ПО. Перед проведением очередной экспертизы данный список может корректироваться. Основные вопросы в контрольном списке представлены в работе [3].

Интуитивное определение ошибок в ПО осуществляется на основе индивидуального ознакомления каждого  $j$ -го эксперта со схемами данных, программ, взаимодействия программ и ресурсов, а также текстами программ, сопоставления их с функциональными требованиями, а также указании мест с конкретными ошибками. При этом каждый  $j$ -й эксперт для каждой обнаруженной им  $i$ -й ошибки определяет тип этой ошибки и выставляет индивидуальную оценку  $p_{ij} \in [0,1]$ . Эта оценка является субъективной вероятностью нахождения  $i$ -й ошибки в указанном месте и отражает степень уверен-

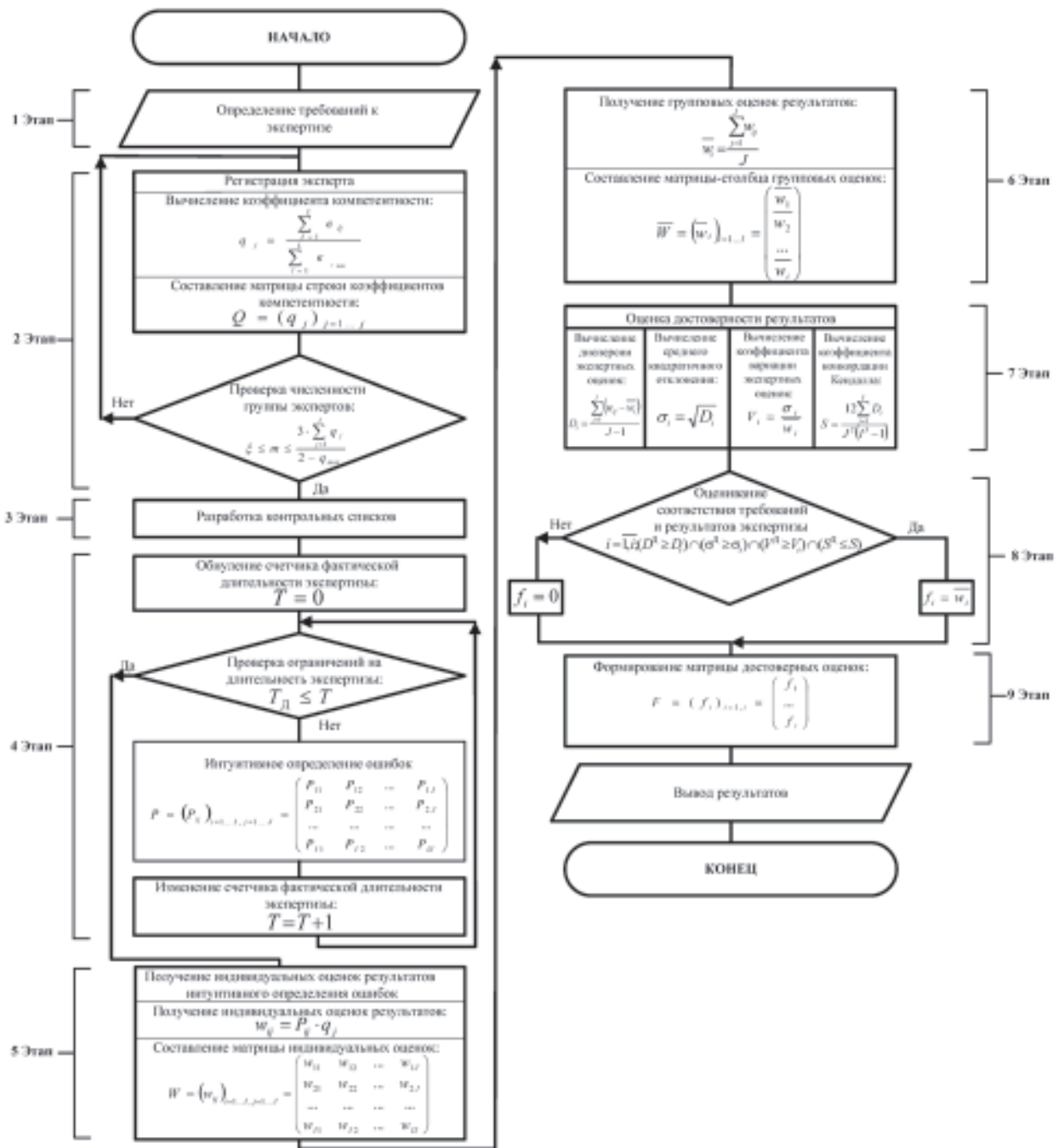


Рис. 1. Структура метода экспертизы ПО ВВСТ

ности в этом  $j$ -го эксперта. Интуитивное определение ошибок в ПО осуществляется исходя из ограничений на время экспертизы с использованием следующего критерия класса пригодности:

$$i = \overline{1, I}; (T^D \leq T),$$

где  $T^D$  — допустимая длительность экспертизы;  $T$  — фактическая длительность экспертизы.

Результатом интуитивного определения ошибок в ПО является матрица субъективных вероятностей:

$$P = (p_{ij})_{i=1..I, j=1..J} = \begin{pmatrix} p_{11} & p_{12} & \dots & p_{1J} \\ p_{21} & p_{22} & \dots & p_{2J} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ p_{I1} & p_{I2} & \dots & p_{IJ} \end{pmatrix}.$$

Таблица 1

Критерии и шкалы для оценки уровня компетентности экспертов

Критерий Вес	Уровень образования	Ученое звание	Количество собственных научных трудов	Опыт работы
1	Бакалавр	–	До 10	До 5 лет
2	Специалист	Доцент (старший научный сотрудник)	От 10 до 20	От 5 до 10 лет
3	Магистр	Профессор	От 20 до 30	От 10 до 15 лет
4	Кандидат наук	Член-корреспондент Российской академии наук	От 30 до 40	От 15 до 20 лет
5	Доктор наук	Академик Российской академии наук	Более 40	Более 20 лет

Получение индивидуальных оценок результатов интуитивного определения ошибок в ПО осуществляется путем преобразования матрицы субъективных вероятностей в матрицу индивидуальных оценок, учитывающих уровень компетентности экспертов:

$$W = (w_{ij})_{i=1..I, j=1..J} = \begin{pmatrix} w_{11} & w_{12} & \dots & w_{1J} \\ w_{21} & w_{22} & \dots & w_{2J} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ w_{I1} & w_{I2} & \dots & w_{IJ} \end{pmatrix}.$$

Для этого элементы матрицы субъективных вероятностей и матрицы-строки компетентности подставляются в следующее выражение:

$$w_i = \sum_{j=1}^J p_{ij} \cdot q_j.$$

Получение групповых оценок результатов интуитивного определения ошибок в ПО осуществляется по средствам преобразования матрицу индивидуальных оценок в матрицу-столбец групповых оценок:

$$\bar{W} = (\bar{w}_i)_{i=1..I} = \begin{pmatrix} \bar{w}_1 \\ \bar{w}_2 \\ \dots \\ \bar{w}_I \end{pmatrix}.$$

Для этого элементы матрицы индивидуальных оценок подставляются в следующее выражение:

$$\bar{w}_i = \frac{\sum_{j=1}^J w_{ij}}{J}.$$

Полученные групповые оценки характеризуют групповое мнение экспертов о нахождении ошибок в ПО.

Оценивание достоверности результатов экспертизы подразумевает получение дополнительной статистической информации о результатах экспертизы. В качестве такой информации выступают [1]:

- дисперсии экспертных оценок;
- среднеквадратические отклонения экспертных оценок;
- коэффициенты вариации экспертных оценок;
- коэффициент конкордации Кендалла.

Дисперсии экспертных оценок являются абсолютными характеристиками разбросанности значений индивидуальных оценок относительно групповых. Данные величины рассчитываются по следующей формуле:

$$D_i = \frac{\sum_{j=1}^J (w_{ij} - \bar{w}_i)^2}{J - 1}.$$

Дисперсии групповых оценок имеют размерность квадрата групповой оценки. Поэтому для наглядной абсолютной характеристики рассеивания индивидуальной оценки, размерность которой совпадает с размерностью групповой оценки, используются среднеквадратические отклонения экспертных оценок. Данные величины рассчитываются по следующей формуле:

$$\sigma_i = \sqrt{D_i}.$$

Коэффициенты вариации экспертных оценок являются относительными характеристиками разбросанности значений индивидуальных оценок относительно групповых. Данные величины рассчитываются по следующей формуле:

$$v_i = \frac{\sigma_i}{\bar{w}_i}.$$

На основе значений дисперсий, среднеквадратических отклонений и коэффициентов вариации экспертных оценок подтверждается достоверность нахождения обнаруженных ошибок ПО. При этом, чем меньше значения представленных величин для  $i$ -й ошибки, тем выше достоверность ее нахождения в указанном месте ПО.

Коэффициент конкордации Кендалла характеризует согласованность экспертов между собой, т. к. позволяет количественно определить область группового мнения. Данная величина рассчитывается по следующей формуле:

$$S = \frac{12 \sum_{i=1}^I D_i}{J^2 (I^3 - 1)}.$$

Коэффициент конкордации Кендалла  $S$  принимает значение в пределах от 0 до 1. При  $S = 1$  означает полную согласованность мнений экспертов, при  $S = 0$  полную несогласованность. Низкое значение этого коэффициента свидетельствует об отсутствии общности мнений экспертов и требует повторного проведения экспертизы.

Оценивание соответствия требований и результатов экспертизы осуществляется с использованием следующего критерия класса пригодности:

$$i = \bar{1}, I; \left( D^{\Delta} \geq D_i \right) \wedge \left( \sigma^{\Delta} \geq \sigma_i \right) \wedge \left( v^{\Delta} \geq v_i \right) \wedge \left( S^{\Delta} \leq S_i \right), \quad (2)$$

где  $D^{\Delta}$  — допустимое значение дисперсии экспертных оценок;  $\sigma^{\Delta}$  — допустимое значение среднеквадратического отклонения экспертных оценок;  $v^{\Delta}$  — допустимое значение коэффициента вариации экспертных оценок;  $S^{\Delta}$  — допустимое значение коэффициента конкордации Кендалла.

Формирование достоверных результатов экспертизы предполагает формирование матрицы-столбца достоверных оценок:

$$F = (f_i)_{i=1,i} = \begin{pmatrix} f_1 \\ \dots \\ f_i \end{pmatrix}.$$

Элементы данной матрицы формируются из матрицы-столбца групповых оценок. Для этого используется условие (2). Если какой-нибудь элемент матрицы-столбца групповых оценок удовлетворяет условию (2), то значение этого элемента становится значением элемента матрицы-столбца достоверных оценок:

$$f_i = \bar{w}_i.$$

В противном случае элементы матрицы-столбца достоверных оценок принимают нулевые значения:

$$f_i = 0.$$

Представленные этапы могут быть реализованы в виде системы поддержки принятия решения, которая по мере участия каждого привлекаемого эксперта позволит корректировать и выработать обоснованное решение о нахождении ошибок в ПО ВВСТ. В случае реализации такой системы поддержки принятия решения в рамках концепции единого информационного пространства Вооруженных Сил Российской Федерации корректировка и выработка решения о нахождении ошибок в ПО ВВСТ будет происходить практически в реальном масштабе времени.

Таким образом, разработанный метод экспертизы программного обеспечения вооружения, военной и специальной техники, в отличие от существующим методов экспертизы программного обеспечения, не требует одновременного участия в реальном масштабе времени экспертов в области инженерии программного обеспечения вооружения, военной и специальной техники, а также не допускает лоббирования результатов экспертизы в интересах отдельных людей и организаций. Метод позволяет увеличить количество обнаруженных ошибок в программном обеспечении вооружения, военной и специальной техники, а, следовательно, и повысить надежность этого программного обеспечения.



## ЛИТЕРАТУРА

1. **Араб-Оглы Э.А.** Рабочая книга по прогнозированию / [Э.А. Араб-Оглы и др.] — М.: Издательство «Мысль», 1982.
2. **Макконнелл С.** Совершенный код. Мастер-класс / С. Макконнелл. — М.: Издательство «Русская редакция», 2011.
3. **Майерс Г.** Искусство тестирования программ / Г. Майерс, Т. Баджетт, К. Сандлер. — М.: Издательский дом «Вильямс», 2012.
4. **Фатрелл Р.** Управление программными проектами: достижение оптимального качества при минимуме затрат / Р. Фатрелл, Д. Шафер. — СПб: Издательский дом «Вильямс», 2003.
5. **Boehm B., Basili V.** Software Defect Reduction Top 10 List. IEEE Computer, 34(1):135–137, January 2001.
6. **Fagan M.** Design and Code Inspection to Reduce Errors in Program Development. IBM Systems Journal, 15 (3), 1976.
7. **Gilb T, Graham D.** Software Inspection. Addison-Wesley, 1993.
8. IEEE 1028. Standard for Software Reviews. New York: IEEE, 1998.
9. **Knight J.C., Myers E.A.** Phased Inspections and their Implementation. ACM SIGSOFT Software Engineering Notes, 16(3):29–35, 1991.
10. **Nielsen J.** Usability Engineering. Academic Press, Boston, 1993.
11. **Wong Y.K.** Modern Software Review: Techniques and Technologies. IRM Press, 2006.

*Я.Н. Гусеница*

кандидат технических наук

*Ю.Л. Кругляк*

кандидат технических наук, доцент

*Д.О. Петрич*

кандидат технических наук

Военно-космическая академия имени А.Ф.Можайского

## **НАКЛОННЫЙ СТЕНД ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА ПЕРСОНАЛЬНОГО КОМПЬЮТЕРА**

**АННОТАЦИЯ.** Изложен практический способ повышения качества подготовки военных кадров по специальности среднего профессионального образования, заключающийся в разработке наклонного стенда технического обслуживания и ремонта персонального компьютера и внедрении его в учебный процесс. Представлены особенности физической реализации стенда, принципы проведения с ним теоретических и практических занятий, оценка эффективности в результате его использования в учебном процессе академии.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** персональный компьютер, техническое обслуживание и ремонт, наклонный стенд, подготовка военных специалистов.

Стремительное развитие сил и средств эвентуального противника ведет к необходимости совершенствования Вооруженных Сил Российской Федерации до уровня оборонной достаточности страны. Для этого в рамках военного строительства в России необходимо не только проводить модернизацию существующих и разработку новых образцов вооружения, военной и специальной техники, но и осуществлять подготовку военных кадров и войск (сил) [4].

Важнейшей задачей при подготовке военных кадров и войск (сил) на современном этапе военного строительства является создание корпуса кадровых младших командиров (сержантов). Руководством Министерства обороны Российской Федерации принято решение по доведению численности сержантского состава по контракту к 2017 году до 425 тысяч, что предполагает подготовку и выпуск в год около 50 тысяч военных специалистов по специальности среднего профессионального образования [1].

В связи с наличием объективных трудностей в обеспечении Вооруженных Сил Российской

Федерации требуемым количеством сержантов необходимо повысить качество их подготовки в военно-учебных заведениях, в том числе и в Военно-космической академии имени А.Ф.Можайского. В то же время несвоевременная поставка в академию современных вычислительных комплексов, применяемых в войсках, не позволяет в полной мере выполнить эту задачу.

Особенно остро данная ситуация прослеживается при подготовке военных специалистов по специальности «Техническое обслуживание и ремонт компьютерных систем и комплексов». Здесь в учебном процессе используются вычислительные комплексы «Эльбрус-90микро», которые были поставлены на вооружение еще в 2001 году.

Одним из путей преодоления перечисленных трудностей является использование учебно-тренировочных средств, таких как программные тренажеры инженерного пульта центрального процессора, процессора ввода-вывода многомашинного вычислительного комплекса «Эль-

брус», местных панелей управления вычислительного комплекса «ббиб», компьютерные обучающие системы «Вычислительные комплексы семейства «Эльбрус-90микро», «Вычислительные комплексы семейства «Эльбрус-3М» и т. д. Вместе с тем указанные учебно-тренировочные средства не позволяют охватить весь спектр практических работ и групповых занятий по дисциплине «Техническое обслуживание и ремонт компьютерных систем и комплексов». В частности, они не позволяют проводить занятия, связанные с техническим обслуживанием и ремонтом персонального компьютера. В связи с этим в академии разработан наклонный стенд технического обслуживания и ремонта персонального компьютера задачей [2, 3, 5].

Упрощенная схема наклонного стенда технического обслуживания и ремонта персонального компьютера представлена на рис. 1. Согласно данной схеме основными элементами стенда являются:

1. Статическая часть, состоящая из стола, запасных инструментов и принадлежностей (ЗИП), а также устройств ввода-вывода.

2. Подвижная часть, состоящая из основы с шарнирным механизмом, материнской платы, блока питания, устройства внешней памяти, устройства внутренней памяти, устройства внутренней памяти, центрального процессора.

Более детальная схема наклонного стенда технического обслуживания и ремонта персонального компьютера изображена на рис. 2. На

ее основе осуществлена физическая реализация стенда (рис. 3), имеющая следующие особенности:

1. Статическая часть исполнена в виде ученической парты. На нее закреплены монитор с возможностью фиксации угла наклона, звуковые динамики, выдвижная клавиатура, и манипулятор типа «мышь», а так же ящик для хранения ЗИП. Основу статической части составляют облегченные древесноволокнистые материалы, что позволяет обеспечить простоту транспортировки стенда к месту проведения занятий.

2. Подвижная часть исполнена в виде столешницы с шарнирным механизмом. Ее положение относительно плоскости статической части может меняться от 0 до 90 градусов в зависимости от вида производимых работ, темы и цели занятия. На подвижной части закреплены основные составные части персонального компьютера, которые соединены между собой стандартными шинами. Рациональное расположение составных частей и стандартных шин на подвижной части обеспечивает высокую доступность к элементам персонального компьютера, как в учебных целях, так и в случае выхода их из строя в процессе эксплуатации. Кроме того, основу подвижной части составляет прозрачное органическое стекло, что обеспечивает высокую наглядность структуры персонального компьютера.

С учетом представленных выше особенностей наклонный стенд технического обслуживания и ремонта персонального компьютера может



Рис. 1. Структурная схема наклонного стенда технического обслуживания и ремонта персонального компьютера

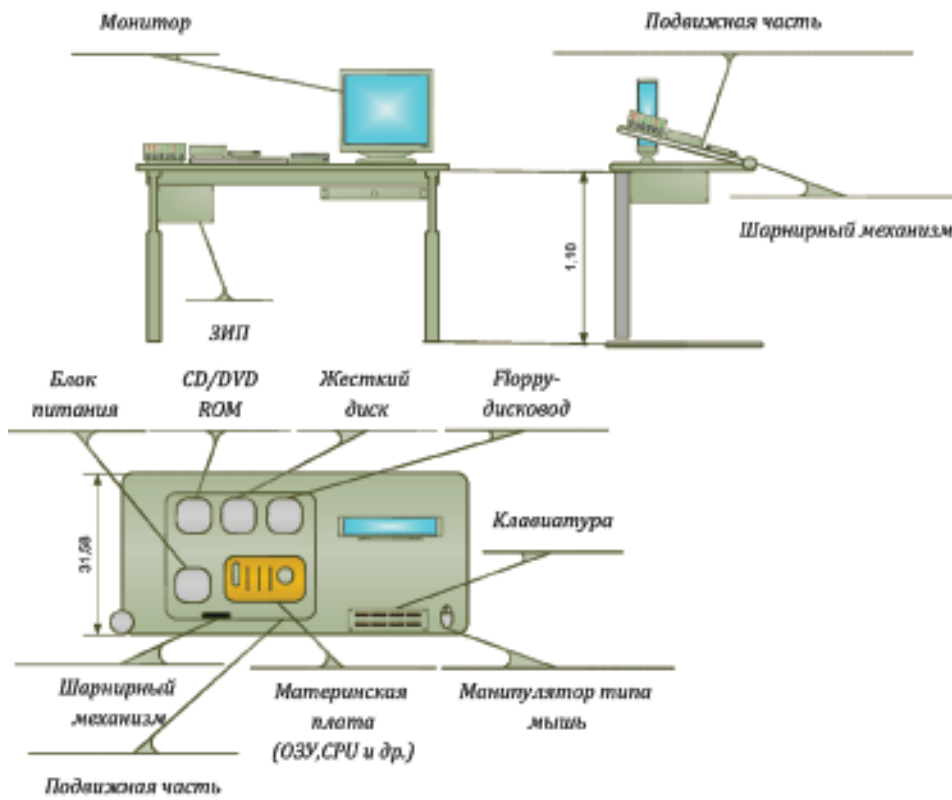


Рис. 2. Детальное представление наклонного стенда технического обслуживания и ремонта персонального компьютера

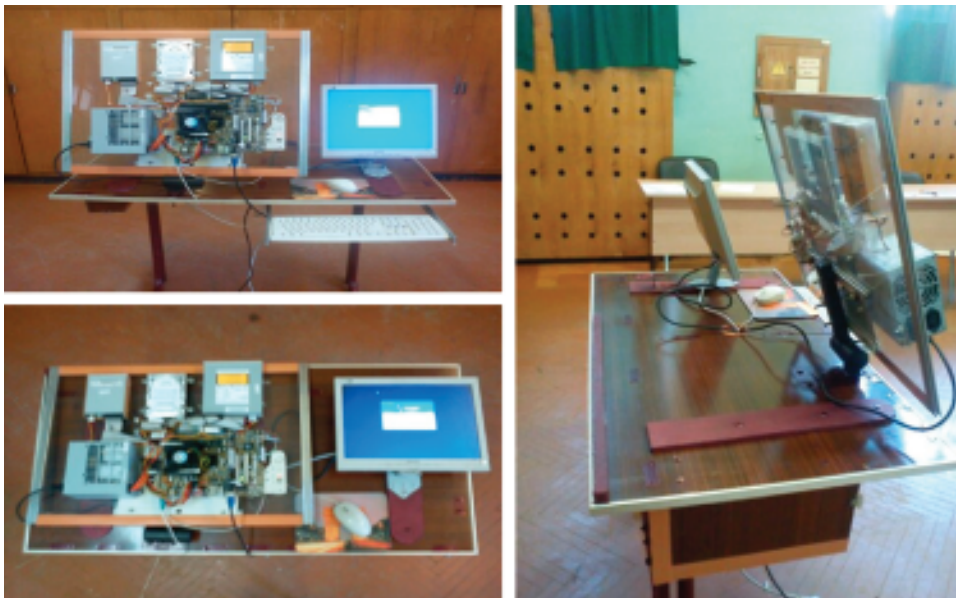


Рис.3. Внешний вид наклонного стенда технического обслуживания и ремонта персонального компьютера

применяться при проведении как теоретических, так и практических видов занятий. Причем при проведении лекций и групповых занятий подвижная часть устанавливается в вертикальное положение, а при практических занятиях — в горизонтальное.

Одним из способов проведения практических занятий с использованием стенда является определение неисправных элементов персонального компьютера (рис. 4).

В последнем случае преподаватель заменяет исправный элемент персонального компьютера на неисправный и вызывает обучающегося для отработки практического задания. Обучающийся подает электропитание на наклонный стенд, в результате чего запускается диагностическая программа POST (Power-On-Self-Test), которая выполняет проверку работоспособности основных составных частей персонального компьютера и при обнаружении неисправного элемента выдает соответствующий звуковой сигнал (последовательность коротких и длинных гудков). В этом случае обучающийся отключает электропитание и на основе имеющихся диагностических признаков принимает решение о неисправном элементе персонального компьютера. После замены неисправного элемента на ЗИП обучающийся снова подает электропитание на наклонный

стенд. Если неисправность определена правильно, то из системного динамика, который располагается на материнской плате, звучит один короткий звуковой сигнал и начнется загрузка операционной системы.

Наклонный стенд технического обслуживания и ремонта персонального компьютера реализован в учебном процессе академии. Так в период с 1 сентября 2013 года по 16 января 2014 года он был апробирован в качестве дидактического материала на практических и теоретических занятиях учебной группы 12195 факультета «Среднего профессионального образования» по дисциплине «Техническое обслуживание компьютерных систем и комплексов».

Для оценивания эффективности внедрения наклонного стенда технического обслуживания и ремонта персонального компьютера в учебном процессе академии проводился анализ успеваемости курсантов по дисциплине «Техническое обслуживание компьютерных систем и комплексов». Данный анализ затронул успеваемость, как упомянутой выше учебной группы, так и учебной группы 12295, которая изучала эту же дисциплину, но без использования стенда. Результаты успеваемости курсантов в учебных группах 12195 и 12295 по дисциплине «Техническое обслуживание компьютерных систем и комплексов» приведены в табл. 1 и на рис. 5.

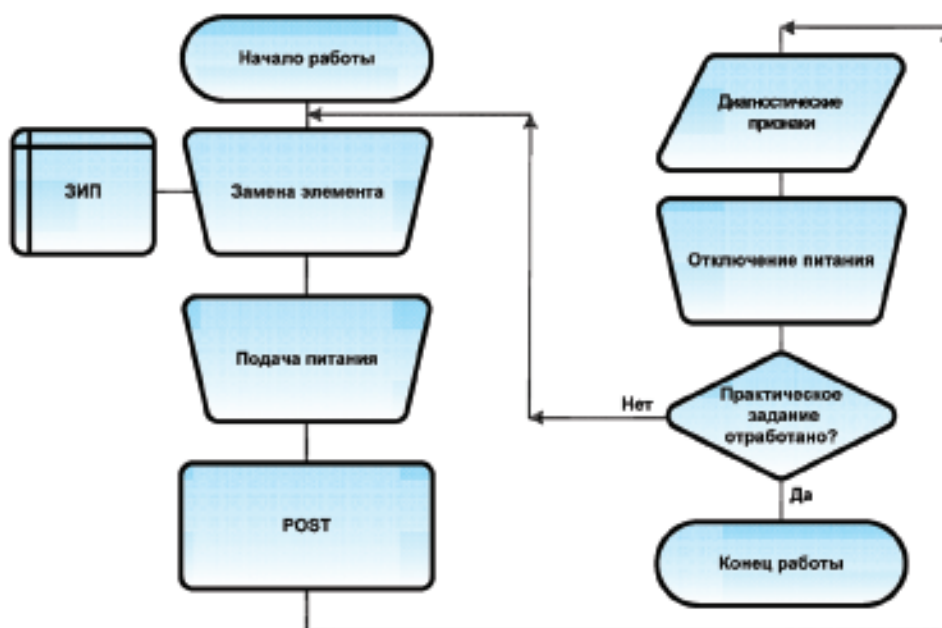


Рис. 4. Схема использования наклонного стенда технического обслуживания и ремонта персонального компьютера



Таблица 1

Средний балл курсантов 12195 и 12295 учебных групп по дисциплине «Техническое обслуживание компьютерных систем и комплексов»

Семестр \ Номера учебных групп	12195	12295
Весенний (28.01.2013–25.07.2013)	4,2	4,4
Осенний (1.09.2013–16.01.2014)	4,7	4,4

Исходя из данных, представленных в табл. 1 и на рис. 5, прослеживаются следующие тенденции:

1. Успеваемость курсантов в осеннем семестре с 1.09.2013 по 16.01.2014 повысилась на 0,5 балла, что составляет 10 % по отношению к предыдущему (весеннему) семестру (28.01.2013–25.07.2013).

2. Результаты успеваемости учебной группы 12195 превысили результаты успеваемости учебной группы 12295 на 0,3 %.

Таким образом, полученные результаты подтверждают возможность и целесообразность

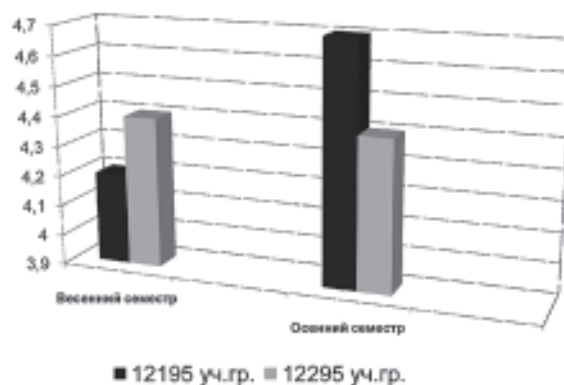


Рис. 5. Средний балл курсантов 12195 и 12295 учебных групп по дисциплине «Техническое обслуживание компьютерных систем и комплексов»

повышения качества подготовки военных специалистов в области технического обслуживания и ремонта компьютерных систем и комплексов за счет разработки и внедрения в учебном процессе академии наклонного стенда технического обслуживания и ремонта персонального компьютера. Использование наклонного стенда технического обслуживания и ремонта персонального компьютера на теоретических и практических занятиях способствует усвоению объема необходимых знаний у курсантов без увеличения сроков обучения.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Герасимов В.В. Опыт войны и пути совершенствования подготовки войск в современных условиях / Герасимов В.В. // Материалы военно-научной конференции 6 марта 2010 года. — М.: «Вестник Академии военных наук», № 2 (31), 2010.

2. Кругляк Ю.Л. Комплекс программных тренажеров местных панелей управления ЭВМ «ббиб» / Кругляк Ю.Л., Петрич Д.О., Гусеница Я.Н. // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2012616076, правообладатель: ВКА имени А.Ф.Можайского; дата поступления 11.05.2012 г., дата регистрации в Реестре программ для ЭВМ 04.06.2012 г.

3. Кругляк Ю.Л. Программный тренажер инженерного пульта центрального процессора МВК «Эльбрус» / Кругляк Ю.Л., Соловьев Ю.В., Загрудников Ю.А., Охотников Ю.Ю., Гусеница Я.Н. // Свидетельство о государственной регистрации про-

граммы для ЭВМ №2013618506, правообладатель: ВКА имени А.Ф.Можайского; дата поступления 22.07.2013 г., дата регистрации в Реестре программ для ЭВМ 10.09.2013 г.

4. Макаров Н.Е. Характер вооруженной борьбы будущего, актуальные проблемы строительства и боевого применения Вооруженных Сил РФ в современных условиях / Макаров Н.Е. // Материалы военно-научной конференции 6 марта 2010 года. — М.: «Вестник Академии военных наук», № 2 (31), 2010.

5. Примаков А.Н. Программный тренажер процессора ввода-вывода МВК «Эльбрус» / Примаков А.Н., Пророк В.Я., Ледянкин И.А., Охотников Ю.Ю. // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2013618506, правообладатель: ВКА имени А.Ф.Можайского; дата поступления 22.07.2013 г., дата регистрации в Реестре программ для ЭВМ 10.09.2013 г.

*А.А. Густов*

доктор военных наук, профессор, ПАО «Интелтех»

*В.В. Дмитриев*

ПАО «Интелтех»

*В.В. Париков*

ПАО «Интелтех»

## **КОНВЕРГЕНТНАЯ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННАЯ ПЛАТФОРМА ДЛЯ СТАЦИОНАРНЫХ И ПОЛЕВЫХ СЕТЕЙ СВЯЗИ ВС РФ**

На начало 21-го века телефонная связь ВС РФ фактически делилась на три части, технологические основы которых были заложены еще во времена СССР. Это были:

сеть дальней засекреченной связи, состоящая из сети ручных коммутаторов семейства П-209 с редкими вкраплениями автоматических станций П-179;

сеть АТС (АТС-Р), в основном состоящая из координатных АТС типа АТСК-50/200М, объединяемых в сеть с помощью аналоговых 2- и 3-проводных соединительных линий;

полевая сеть, построенная на базе все тех же П-209.

Однако, вполне удовлетворявшие потребности в 80-е годы 20-го века, эти сети в конце 20-го — начале 21-го выглядели весьма анахронично. А лишившись канального ресурса, фактически неограниченного во времена СССР, выглядели так и вовсе бледно. Тем не менее, какие-то свои каналы у Министерства обороны еще оставались, АТС-Р стояли на своих местах, и вполне естественным было попытаться объединить режимные АТС по имеющимся каналам. Именно такая задача и была поставлена перед коллективом разработчиков ОАО «Интелтех» в 1998 году.

Транзитный модуль доступа (ТМД), созданный для решения задачи связи АТС-Р, стал одним из первых отечественных решений, выполненных на базе технологий компьютерной телефонии. Использование в качестве форм-фактора готовых промышленных ЭВМ, монтируемых в 19-дюймовую стойку, позволило разработчикам

сосредоточиться на разработке плат специфических интерфейсов и разработке алгоритмического и программного обеспечения, что существенно ускорило сроки разработки и уменьшило конечную стоимость изделия. Кроме того, принятие за основу сертифицированной в России операционной системы QNX позволило существенно повысить надежность и реактивность встроенного программного обеспечения, что весьма положительно отразилось на потребительских свойствах конечного изделия. Серийная поставка и установка опытного района были успешно проведены в 2002 году.

К 2003 году остро стал вопрос о модернизации старых и создании новых полевых аппаратных телефонной связи. Традиционно в таких аппаратных центральным элементом является коммутатор, а отечественная промышленность не могла предложить ничего кроме старых шнуровых коммутаторов типа П-209. Между тем созданный при разработке ТМД задел позволил взяться за выполнение работы по созданию автоматической телефонной станции внутриобъектовой и дальней связи (АТС ВДС) для полевых аппаратных. Разработка была завершена в 2008 году, изделие было принято на снабжение, его серийные поставки продолжают по настоящее время.

Дальнейшее развитие системы связи Вооруженных Сил вызвало необходимость создания платформы, способной стать ядром современной телекоммуникационной инфраструктуры, предоставить абонентам интегрированные услуги, обеспечивать работу как с уже имеющим-

ся в войсках оборудованием, так и с новыми перспективными средствами каналаообразования, новыми типами трактов передачи.

Именно такой новой платформой стал комплекс программно-аппаратных средств коммутации и терминального оборудования (ПАСКТО) для стационарных и полевых автоматизированных интегрированных сетей засекреченной и открытой телефонной связи звеньев управления ВС РФ.

В 2011 году в опытную эксплуатацию поступила первая партия из трех изделий. В ходе подготовки к серийному производству с учетом результатов опытной эксплуатации осуществлена доработка ПАСКТО, которая позволила вывести платформу на качественно новый уровень: создан ряд гибридных коммутаторов (ГК) и средств управления сетями связи на их основе, обеспечивающих построение полевых и стационарных сетей связи ВС РФ, соответствующих концептуальному подходу к построению NGN-сетей и органично решающих задачу конвергенции существующих сетей связи ВС РФ и перспективных. ГК обеспечивает реализацию функций (рис. 1):

- гибкого коммутатора 3–5 уровня;
- IP-маршрутизатора;
- АТС, реализующая функции ISDN-АТС и поддерживающая взаимодействие со средствами АСЗТС «Памир»;
- IP-АТС;
- коммутатора Ethernet уровня 2 + ;

Функциональные элементы ГК реализуются в блоках «Коммутатор услуг» и «Сервер передачи данных», которые размещаются (в зависимости от варианта исполнения) либо в телекоммуникационном шкафу (рис. 2), либо в отдельных блоках. Исполняется ГК по ГОСТ РВ 20.39.304–98:

- по группе 1.1 «УХЛ» для стационарных узлов связи;
- по группе исполнения 1.3 «О» для полевых узлов связи.

Формирование телекоммуникационной инфраструктуры осуществляется с применением технологий:

- коммутации каналов на основе программируемого коммутатора каналов и подключенных к нему среднескоростных каналов связи С1И 2,4 (1,2) кбит/с (образованных проводными, радиорелейными, тропосферными, спутниковыми и радиосредствами) и высокоскоростных трактов Е1;

- коммутации пакетов на основе IP-маршрутизатора и подключенных к нему трактов Ethernet, и использования ресурса высокоскоростных трактов Е1, подключенных к программируемому коммутатору каналов.

Тип и количество реализованных интерфейсов для подключения каналов связи в зависимости от вариантов исполнения представлены в табл. 1.

При этом обеспечивается:

- пакетные и каналные методы коммутации, способные эффективно поддерживать всю

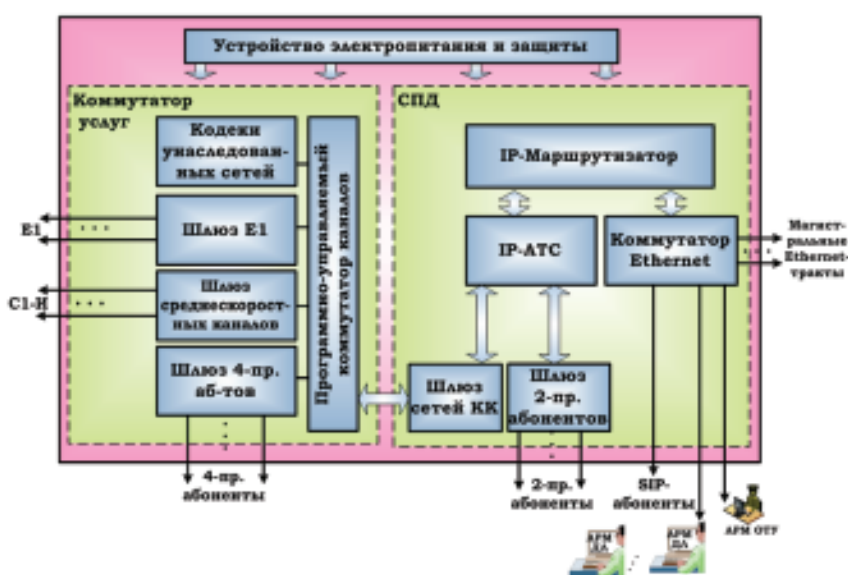


Рис. 1. Упрощенная структурно-функциональная схема ГК.

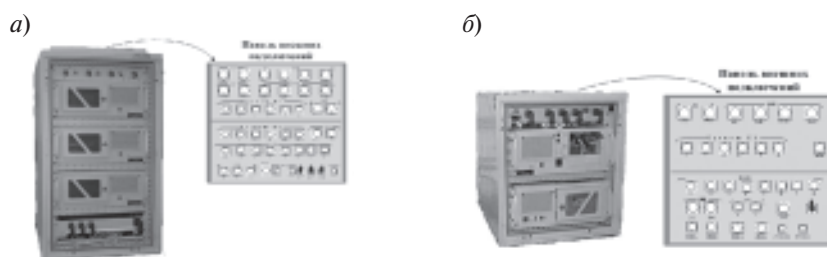


Рис. 2. Внешний вид ГК-П (а) и ГК-П1 (б)

гамму существующих приложений и услуг, обеспечивая масштабируемость и гибкость, позволяя реагировать на новые требования по функциональности и пропускной способности;

- построение абонентских терминальных сетей;

- развертывание сетей телефонной связи (шифрованной и открытой традиционной и IP-телефонии) и предоставление пользователям услуг телефонной связи;

- предоставление пользователям услуг IP-транспортной сети.

Создаваемая на основе ГК телекоммуникационная инфраструктура позволяет поддерживать:

- статическую и динамическую маршрутизацию в сетях с коммутацией пакетов и коммутацией каналов;

- установление долговременных соединений каналов связи в автоматизированном режиме управления;

- возможность обеспечения автоматической и автоматизированной коммутации каналов в одном изделии и по сети в целом;

- подключение АРМ ДЛ по протоколу TCP/IP;

- поддержку 6-ти и 9-ти значной нумерации;
- соединения абонентов IP-телефонии и традиционной телефонии (в том числе с абонентами, использующими вокодерное и липредерное преобразования);

- использование различных кодеков (в т.ч. G.729a), их автоматический выбор и преобразование;

- дополнительные виды обслуживания: циркулярный вызов, заказная — связь, речевая почта, автоответчик, переадресация, секретариат.

ГК обеспечивает установление соединений:

- местных между абонентами ГК в любом сочетании;

- входящих, исходящих и транзитных по каналам связи 2,4 (1,2) кбит/с;

- входящих, исходящих и транзитных по каналам связи 64 кбит/с, образованных временными интервалами высокоскоростных трактов E1;

- входящих, исходящих и транзитных по трактам Ethernet;

Таблица 1

**Тип и количество интерфейсов**

Типы интерфейсов и стыков	ГК-С	ГК-П	ГК-П1	ГК-П2
	группа 1.1	группа исполнения 1.3		
E1 (G.703, для соединения между ИКУ или с АТС по цифровому стыку ИКМ-30/32 по протоколу DSS1 ISDN PRI)	до 20*	6–12*	6	3
E1 (G.703, G.704)	до 6*	2	3	3
С1-И, в том числе подключение по 10- проводному стыку	16–96*	16–64*	16–32*	16
	до 24*	до 8*	4	—
4WFXS (абонентские окончания)	8–288*	8–32*	8–16*	8
RS-232	до 24*	8	8	2
V.35	до 3*	1	1	1
Ethernet 10/100 Base-TX	до 59*	12	13	13

— входящих, исходящих и транзитных по комбинированному составным трактам, составленным из любых типов подключенных каналов и связи;

— долговременных сетевых — долговременных транзитов: постоянно скоммутированных однородных канальных стыков, функционирующих на одинаковых скоростях (канал СИИ — канал СИИ, тракт Е1 — тракт Е1).

Установление соединений по каналам осуществляется по протоколам сети, по высокоскоростным трактам Е1 — по протоколу EDSS1, по сети с коммутацией IP пакетов — по протоколу SIP. В ГК реализовано взаимное преобразование протоколов сигнализации.

Поиск каналов для осуществления соединения ведется среди подключенных каналов связи автоматически с учетом качества канала. На исходящем коммутаторе обеспечивается поиск до четырех обходных направлений связи к вызываемому абоненту. Сначала ищется свободный канал, образованный на основе проводных, радиорелейных, тропосферных или спутниковых средств в основном направлении, затем свободный канал в обходных направлениях связи. При их отсутствии осуществляется поиск свободного КВ-канала в основном и обходных направлениях. При этом установление соединения по КВ-радиоканалам осуществляется только в полуавтоматическом режиме: с помощью оператора-телефониста.

Для преобразования речи, полученной по каналам связи 64 кбит/с в цифровой поток, пригодный для передачи по установленным каналам связи, используются блоки, обеспечивающие вокодерное/липредерное преобразование речевого сигнала. Выбор алгоритма речепреобразования осуществляется автоматически:

— при установлении соединения между ГК и станциями, оснащенными встроенными РПУ-Г, автоматически выбирается липредерный алгоритм речепреобразования;

— при установлении входящих/исходящих соединений между ГК и встречными станциями, оснащенными автономными РПУ, удаленным абонентом, оснащенным установкой АТ-3126, а также РТС, автоматически выбирается вокодерный алгоритм речепреобразования.

В случае, если вызываемый абонент не отвечает, вызывающий абонент может соединиться с «автоответчиком». Воспроизведение речевого сообщения «автоответчика», предназначенное вызываемому абоненту, осуществляется в соот-

ветствии с алгоритмом речепреобразования и скоростью, которые были заданы на этапе записи речевого сообщения вызывающим абонентом. Доступ абонента к приемному ящику автоответчика осуществляется только со своего телефонного аппарата и только к своему приемному ящику автоответчика, что реализовано программными средствами. Максимальная длина одной записи — 1 мин. Максимальное количество записей — 15.

Накопленный опыт в создании комплексов и средств автоматических сетей связи позволил выстроить автоматизированную систему управления сетью связи, создаваемую на основе ГК, и отдельными ее элементами с применением TMN-ориентированной технологии и управляющих прикладных процессов, программно реализующих задачи уровней управления технологического, оперативно-технологического и организационного. Управление сетью (зоной) связи, узлом связи может осуществляться с автоматизированного рабочего места (АРМ) на базе ноутбука.

Основополагающим является уровень технологического управления: именно на нем осуществляется доступ к техническим средствам для мониторинга состояния оборудования, контроля его функциональных узлов, приема сигналов неисправности, локализация неисправностей с точностью до блока, что в конечном итоге и определяет возможность обеспечения автоматизированного управления функционированием ГК.

На уровне оперативно-технологического управления обеспечивается автоматизированное решение задач оперативного управления связью, нацеленных на поддержание функционирования сети связи и ее элементов в рамках тех требований и ограничений, которые определяются подсистемой организационного управления и обусловлены техническими характеристиками сетевых элементов, фактическим состоянием объекта управления, потребностями (поведением) абонентов и воздействиями внешней среды, т. е. обстановкой по связи. На этом уровне реализованы такие основные функции, как:

— управление изменением состава и конфигурации сети связи по иерархии сеть связи, зона сети связи, узел связи;

— автоматический ввод ГК в состав сети связи, автоматический вывод ГК из состава сети связи;

— мониторинг состояния сети (зоны, узла) связи;



- отображение состава, конфигурации и состояния (зоны, узла) сети связи;
- управление распределением информационных потоков;
- маршрутизация информационных потоков в сетях коммутации среднескоростных каналов, коммутации потоков Е1 и коммутации пакетов;
- учет особо важных переговоров: время начала (день, час, мин, с) и окончания (час, мин, с) разговора;
- вид связи (исходящая, входящая, местная);
- результат окончания соединения (норма — отбой абонентов после разговора, авария — отказ технических средств либо сброс во время разговора);
- списочные номера абонентов, участвующих в соединении;
- сбор и обработка обобщенной статистической информации о нагрузке по направлениям связи:

- общее число исходящих соединений;
- число установленных соединений;
- число отказов по причине занятости;
- число отказов по причине неисправности;
- обмен служебными сообщениями (до 2 кБ) с помощью встроенных средств электронной почты по среднескоростным (1,2/2,4 кбит/сек).

При этом принятые технические решения обеспечивают санкционированное управление средствами платформы за счет автоматизированного администрирования безопасности.

Средства управления обеспечивают построение системы управления функционированием, нацеленной на максимально эффективное выполнение плана сети связи, который формируется на уровне организационного управления с применением средств автоматизированного решения задачи планирования сети связи и автоматического формирования конфигурационных данных для всех ГК сети по результатам планирования.

По итогам эксплуатации серийных изделий динамически формируются коррекции алгоритмического и программного обеспечения, конструктива изделий для более полного удовлетворения требований эксплуатационного персонала в части удобства обслуживания и использования ГК (рис. 3). Кроме того, в настоящее время проводится разработка нового конструктива изделия, целевой нишей которого должно стать использование на морских и воздушных судах, колесных и гусеничных подвижных наземных объектах с возможностью работы на ходу.



Рис. 3. Сравнение габаритов текущих вариантов поставки и модернизируемых изделий

В ходе модернизации первой очереди была осуществлена доработка программного обеспечения изделий:

- специального программного обеспечения, что позволило расширить функциональные возможности изделий при встречной работе с изделиями Миником DX-500С и П-215, обеспечении связи по каналам, образованным аппаратурой Т-231–2А, улучшить эргономичность и управляемость изделий;

- осуществлен переход на отечественную защищенную операционную систему «Нейтрино» (СВД «Встраиваемые системы»), что позволило повысить устойчивость функционирования изделия в целом;

- доработано СПО рабочего места оператора, что позволило обеспечить «дружественный» графический интерфейс пользователя.

В ходе дальнейшей модернизации будет обеспечено существенное снижение массогабаритов и энергопотребления изделий, расширены их функциональные возможности, существенно дополнен набор медийных услуг. Будет сформирован принципиально новый облик коммутатора, обеспечивающий его функционирование как в полевых аппаратных связях, так и военно-морских и воздушных судов, построение территориально разнесенных решений по организации связи как в оперативно-тактическом, так и тактическом звене управления ВС РФ.

За многолетний период выполнения работ по созданию коммутационной техники в ОАО «Интелтех» была сформирована школа по проведению исследований, разработке и производству средств связи для оперативно-тактического и тактического звена управления ВС РФ. Коллектив работает в тесной кооперации с многими другими научными и промышленными организациями, что позволяет оперативно удовлетворять требования Заказчика на высоком научно-техническом уровне.

*А.А. Густов*

доктор военных наук, профессор, ПАО «Интелтех»

## МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ ВЛИЯНИЯ ТЕХНИЧЕСКОЙ ОСНОВЫ ПУНКТА УПРАВЛЕНИЯ НА ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ ПУНКТА УПРАВЛЕНИЯ

**АННОТАЦИЯ.** Пункт управления (ПУ) представляет собой сложную организационно-техническую систему, в которой органично соединены оперативный состав и средства управления, составляющие его техническую основу (ТО ПУ). Предлагаемый методический подход позволяет исследовать приспособленность ТО ПУ к решению возлагаемых на нее задач в процессе управления группировкой войск.

В составе ПУ с некоторой долей условности возможно выделить две основные компоненты, которые в совокупности обеспечивают реализацию процесса управления войсками: функциональную и техническую. Функциональную компоненту составляют органы управления (должностные лица, принимающие решение), так как они являются генераторами информации, а техническую — технические средства управления (связь и автоматизация). Очевидно, что качество функционирования первой компоненты во многом будет определяться состоянием и возможностями технической компоненты. При соответствующих навыках и способностях органов управления принимать обоснованные решения качество управления будет в прямой зависимости от функционирования средств управления, реализующих процессы приема, обработки и передачи информации. Причем отсутствие этих процессов приводит к разрушению (срыву) управления в целом. Следовательно, техническая составляющая ПУ является основой управления также, как и решение должностного лица, то есть управление может отсутствовать по двум причинам: когда нет решения или отсутствует обмен сообщениями.

Основное назначение технической составляющей — создание благоприятных условий для осуществления процесса управления. Исходя из этого могут быть определены такие условия, которые будут являться оптимальными для управления в целом.

Для определения непосредственного влияния ПУ на характеристики группировки войск необходимо иметь представление об уровне воздействия, которое он может оказать в конкретный момент времени, что может быть определено на основе дальнейшего развития подхода, в соответствии с которым качество управления увязывается с количеством сил и средств, имеющих на ПУ в рассматриваемый период операции.

Строго определить граничные условия для оценки состояния работоспособности ПУ не представляется возможным, поскольку нельзя дать строгое количественное определение категории «обеспечить управление». Показатель, отражающий возможности ПУ обеспечивать управление войсками, характеризуется как уровень боевого управления  $U_i^{by}(t_k)$  и определяется из соотношения

$$U_i^{by}(t_k) = f\{U_{кпи}^{дл}(t_k), U_{кпи}^{сс}(t_k)\}, \quad (1)$$

где  $U_{кпи}^{дл}(t_k)$ ,  $U_{кпи}^{сс}(t_k)$  — боевые возможности оперативного состава и средств управления, соответственно.

При определении боевых возможностей оперативного состава в расчет принимается только количественная его характеристика, т. е. сколько операторов осталось работоспособно после воздействия противника по ПУ. Боевые возможности оперативного состава определяются на основе выражения

$$U_{\text{кп}i}^{\text{дл}}(t) = \frac{N_{\text{р}i}^{\text{дл}}(t) + N_{\text{о}i}^{\text{дл}}(t)}{N_i^{\text{кп}}}, \quad (2)$$

где  $N_{\text{р}i}^{\text{дл}}(t_k), N_{\text{о}i}^{\text{дл}}(t_k)$  — количество оперативно-го состава в дежурной и отдыхающей сменах, соответственно, на ПУ в  $k$ -тый период операции;  $N_i^{\text{кп}}$  — количество оперативного состава дежурной смены КП.

В соответствии с критерием

$$U_{\text{кп}i}^{\text{дл}}(t) = \begin{cases} \text{«достаточный»}, & \text{если } 2.5 \leq U_{\text{кп}i}^{\text{дл}}(t) \\ \text{«ограниченный»}, & \text{если } 1.5 \leq U_{\text{кп}i}^{\text{дл}}(t) < 2.5 \\ \text{«низкий»}, & \text{если } 0.8 \leq U_{\text{кп}i}^{\text{дл}}(t) < 1.5 \\ \text{«недостаточный»}, & \text{если } 0.8 < U_{\text{кп}i}^{\text{дл}}(t) \end{cases} \quad (3)$$

Уровень боевых возможностей средств управления рассматривается как зависимость вида

$$U_{\text{кп}i}^{\text{сб}}(t) = \frac{Y_i^{\text{кп}}(t_k)}{Y_j}, \quad (4)$$

$Y_i^{\text{кп}}(t_k)$  — пропускная способность УС ПУ в  $k$ -тый период операции;  $Y_j$  — минимально необходимая пропускная способность УС ПУ, позволяющая своевременно передать все сообщения, отправляемые (принимаемые) должностными лицами.

Это выражение характеризует способность УС обеспечить передачу (примем) необходимого для принятия обоснованного решения количества сообщений. В этой связи можно говорить о том, что:

— управление осуществляется нормально, если орган управления обладает всем объемом информации в требуемые сроки;

— управление затруднено, если выполняются необходимые и достаточные условия принятия обоснованного решения (своевременное наличие всей чрезвычайной, внесрочной и части срочной информации);

— управление нарушено, если выполняются только необходимые условия принятия обоснованного решения (наличие у органа управления всей чрезвычайной информации в установленные сроки);

— управление сорвано, если не выполняются необходимые условия (отсутствует чрезвычайная информация).

Учитывая эти условия, можно определить критерии оценки пропускной способности для УС ПУ. Полагая, что узел связи, обладающий пропускной способностью  $Y_j$ , обеспечивает своевременную передачу 100 % сообщений, исходящих от КП в заданных информационных направлениях будем считать, что уровень боевых возможностей средств управления определяется как

$$U_{\text{кп}i}^{\text{сб}}(t) = \begin{cases} \text{«достаточный»}, & \text{если } 0.8 \leq U_{\text{кп}i}^{\text{сб}}(t) \\ \text{«ограниченный»}, & \text{если } 0.4 \leq U_{\text{кп}i}^{\text{сб}}(t) < 0.8 \\ \text{«низкий»}, & \text{если } 0.25 \leq U_{\text{кп}i}^{\text{сб}}(t) < 0.4 \\ \text{«недостаточный»}, & \text{если } 0.25 < U_{\text{кп}i}^{\text{сб}}(t) \end{cases} \quad (5)$$

Тогда уровень боевого управления  $U_i^{\text{б}y}(t_k)$ , реализуемый в рассматриваемый момент времени, будем определять на основе выражения

$$U_i^{\text{б}y}(t_k) = \inf(U_{\text{кп}i}^{\text{дл}}(t_k), U_{\text{кп}i}^{\text{сб}}(t_k)). \quad (6)$$

Принятие к рассмотрению минимального значения одного из рассматриваемых показателей обусловлено следующими соображениями. Узел связи не сможет передать сообщений больше, чем обеспечивают его технические возможности. Поэтому, даже если количество оперативного состава позволяет вырабатывать необходимую управляющую информацию, то при  $U_{\text{кп}i}^{\text{сб}}(t) < U_{\text{кп}i}^{\text{дл}}(t)$  она не будет своевременно доведена до исполнителей. Равно как и в другой ситуации: больше информации, чем способен выработать оперативный состав, на УС не поступит. Характеризуется уровень боевого управления лингвистической переменной со значениями

$$\left\langle \begin{matrix} \text{«достаточный»}, \text{«ограниченный»}, \\ \text{«низкий»}, \text{«недостаточный»} \end{matrix} \right\rangle. \quad (7)$$

Изменение этого показателя вполне объективно носит скачкообразный характер. Уменьшение количества оперативного состава и средств управления до некоторого уровня не сказывается существенным образом на уровне боевого управления вследствие ряда причин: некоторой избыточности оперативного состава и средств управления; перераспределения функциональных обязанностей. Однако в процессе функционирования может наступить некоторое критическое состояние, когда никакие меры,

принимаемые для обеспечения стабильной работы ПУ своими силами и средствами, не позволяют выполнять функции управления на уровне, соответствующем значению «достаточный», что вносит определенные затруднения в управление войсками, использование боевого потенциала группировки войск. Это, в свою очередь, ведет к снижению уровня боевых возможностей группировки.

Чтобы проводить количественную оценку боевых возможностей группировки войск, необходимо от качественного значения показателя перейти к количественному. Для этого воспользуемся подходом, изложенным в трудах по теории нечетких множеств, поставив в соответствие каждому качественному значению показателя вполне определенное количественное. Тогда уровень боевого управления, который способен реализовать ПУ в определенный период операции, будем определять как

$$U_i^{6y}(t) = \begin{cases} 1, & \text{если: } \{U_{кпi}^{дл}(t), U_{кпi}^{сч}(t)\} = \text{«достаточный»} \\ 0.8, & \text{если: } \{U_{кпi}^{дл}(t), U_{кпi}^{сч}(t)\} = \text{«ограниченный»} \\ 0.5, & \text{если: } \{U_{кпi}^{дл}(t), U_{кпi}^{сч}(t)\} = \text{«низкий»} \\ 0.25, & \text{если: } \{U_{кпi}^{дл}(t), U_{кпi}^{сч}(t)\} = \text{«недостаточный»} \end{cases} \cdot (8)$$

Еще раз следует подчеркнуть, что введение некоторой количественной меры, определяющей уровень боевого управления рассматриваемого ПУ, не выступает в качестве инструмента строгого измерения «количества управления». Этот показатель отражает основанное на здравом смысле утверждение, что в результате количественно-качественного изменения состава ПУ при некотором соотношении сил и средств может произойти изменение управленческой деятельности за счет изменения интеллектуальных и технических возможностей ПУ. Уменьшение показателя ниже определенного значения позволяет утверждать, что уменьшится количество задач, которые способен решить ПУ, либо при сохранении их количества снижается качество решения. Ухудшение организующей роли ПУ приводит к снижению боевых возможностей группировки войск. Условную меру снижения

этой организующей функции и определяет показатель  $U_i^{6y}(t_k)$ .

Особенность исследования ПУ состоит в том, что для любого момента времени нельзя однозначно указать, в каком из состояний он находится. Возможно лишь с некоторой долей условности в рамках разрабатываемой модели определить математическое ожидание уровня потерь  $W_i^u(t_k)$  в момент времени  $t_k$ , которые может понести ПУ, и на этой основе определить состояние  $G_k$ , характеризующееся определенным уровнем управления  $U_i^{6y}(t_k)$ . Количество оставшихся работоспособными после воздействия штабных машин, аппаратных связи будем определять по соотношению

$$N_{li}^{АП}(t_k) = N_{li}^{АП}(t_0) \cdot [1 - W_{li}^u(t_k)] \cdot P_{li}^3(t_k), \quad (9)$$

где  $N_{li}^{АП}(t_0)$  — количество аппаратных в элементе в начальный момент операции;

$P_{li}^3(t_k) = e^{-\mu^3 \cdot t_k}$  — вероятность того, что на протяжении времени  $t_k$  аппаратные будут находиться в работоспособном состоянии;  $\mu^3$  — прогнозируемая интенсивность эксплуатационных потерь сил и средств управления (аппаратная/сутки) на  $k$ -том этапе операции.

Тип пораженных и вышедших из строя аппаратных задается их перечнем. На основе этого перечня определяется количество выбывших из строя операторов  $\Delta N_{pli}^{кп}(t_k)$  и производится расчет потерь пропускной способности элемента  $\Delta Y_{li}^{кп}(t_k)$ . При этом рассматривается оптимистический и пессимистический прогноз. Поражение элементов ПУ можно считать событиями независимыми, тогда уровень боевого управления определяется как

$$U_i^{6y}(t_k) = \inf \left\{ \sum_{l=1}^L U_{кпli}^{дл}(t_k), \sum_{l=1}^L U_{кпli}^{сч}(t_k) \right\}, \quad (10)$$

где  $L$  — количество элементов в составе ПУ.

Изменение уровня боевого управления при заданном воздействии позволяет судить об эффективности принимаемых решений по организации технической основы ПУ. Чем меньше снижение уровня боевого управления, тем более эффективны решения по организации ПУ.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Барковский А.Ф. Прогнозирование потерь своих войск. — С.Пб.: ВАА, 1994—97с.

2. Борисов А.Н., Алексеев А.В., Меркурьева Г.В и др. Обработка нечеткой информации в системах принятия решений. — М.: Радио и связь, 1989—304с.

*К.И. Домкин*

*М.Ф. Исхаков*

кандидат технических наук,  
ОАО «НПП «Рубин» г. Пенза

## СОВРЕМЕННЫЕ КЛАССИФИКАЦИИ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

**АННОТАЦИЯ.** Приведена расширенная классификация современных робототехнических систем. Показаны возможности развития характеристик роботизированных систем.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** робот, роботизированная система, классификация роботизированных систем, функции роботизированных систем.

В настоящее время невозможно составить полную классификацию роботизированных систем (РС) по их типам или выполняемым ими задачам. Вместо жесткой классификации предлагается выделять подобие их подсистем или функций. Такой подход к классификации роботизированных систем позволит находить новые типы конструкций РС и расширить набор выполняемых ими функций [1]. Классификации желательно связывать с технологиями производства РС, что может существенно повысить их гибкость и расширить номинал выпускаемой продукции в пределах одной производственной линии или одного предприятия.

Любая существующая РС может быть классифицирована по четырем первичным параметрам:

1. Операционная среда.
2. Взаимодействие с пользователем.
3. Конструкция.
4. Функционал.

Существует пять операционных сред (ОС), в которых могут работать РС:

1. Наземная.
2. Воздушная.
3. Водная.
4. Космическая.
5. Живые организмы.

Также существуют смешанные типы ОС, например одна и та же РС может работать на земле и воде, или в верхних слоях атмосферы и в космосе. Большинство существующих РС могут работать в двух и более ОС.

ОС также имеют свои классификации (например, внутри помещений, под землей и на открытом воздухе) [2]. Кроме того, ОС могут представлять определенный уровень опасности как для человека, так и для РС (например, высокие температуры, условия загрязненной атмосферы или едкие вещества).

РС в своем развитии имеют тенденцию к полной автономности. Но даже в самых современных РС нельзя исключить взаимодействие с пользователем в том или ином виде. По уровню взаимодействия РС принято разделять на:

1. Программируемые.
2. Дистанционно-управляемые
3. Контролируемые
4. Объединенные
5. Автономные

Кроме того, РС могут работать в группах состоящей как из подобных, так и совершенно других РС. Такие группы могут быть соединены физически (например, модульная РС, где каждый модуль представляет собой полностью независимую РС), или представлять собой группу, состоящую из отдельных специальных РС, с индивидуальными принципами управления [3]. Также РС могут работать в группе с нероботизированными системами. Уровень автономности и количество РС значительно влияют на тип взаимодействия РС и пользователя.

РС могут иметь различные физические формы:

1. Манипуляторы.
2. Роботизированные платформы.
3. РС-экзоскелеты.



4. Трансформируемые РС.
5. Нано- и микро-РС.
6. Человекоподобные.

Технологии для подсистем РС различных физических форм в первую очередь будут определяться ОС.

РС обычно могут выполнять широкий перечень работ. Первичная классификация функционала РС выглядит следующим образом [4].

1. Сборка. Соединение деталей, может включать дополнительные операции, такие как сварка, пайка и т. д.

2. Обработка поверхностей. Функция может быть применена как к местности, так и к объектам. Может включать в себя обработку химикатами, уборку, покрытие поверхности материалами, резку и пр.

3. Взаимодействие. Функция включает взаимодействие с РС и человеком. Физический контакт и обмен информацией.

4. Исследование. Исследования полностью или частично неизвестного пространства, включая составление карт, поиск людей, техники.

5. Транспортировка. Функция включает ориентирование или перемещение объектов или людей между заданными положениями на короткие и длинные дистанции.

6. Наблюдение. Функция включает действия в заведомо известном пространстве, сбор параметров окружающей среды, контроль состояния объектов в заданном пространстве.

7. Захват. Функция удержания и ориентирования объектов, инструментов или людей. Включает в себя идентификацию объекта и алгоритмов его захвата.

8. Манипулирование. Использование захваченного объекта для выполнения своих задач.

Большинство РС сочетает в себе несколько перечисленных функций. С развитием РС пере-

чень их функций будет расширяться и дополняться.

Характеристики различных РС могут быть определены характеристиками их подсистем. Каждая характеристика влияет на поведение и управление РС. В настоящее время приняты следующие характеристики РС [5, 6].

1. Конфигурируемость. Способность РС быть настроенной для выполнения определенной задачи. Может включать все физические конфигурации и конфигурации программного обеспечения.

2. Адаптивность. Способность РС адаптироваться к различным видам и условиям работ. Может иметь место как в долгосрочном так и краткосрочном периодах. Может относиться также к подсистемам и надсистемам.

3. Способность к взаимодействию. Способность взаимодействовать с другими РС или человеком через различные протоколы, пульта оператора, интерактивные диалоги.

4. Надежность. Способность РС выполнять задачи без систематических ошибок. Определение уровня доверия к РС. Контроль действий оператора.

5. Мобильность. Возможность РС точно следовать заданной траектории. Возможность движения в резко меняющихся условиях.

6. Возможность манипулирования. Включает возможность захвата объекта.

7. Возможность восприятия. Восприятие РС окружающей обстановки, распознавание объектов, движения. Восприятие информации с датчиков.

8. Способность принимать решения. Выбор наиболее эффективного способа выполнения задачи в данных условиях.

9. Способность к обучению. Интерактивное выполнение команд.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Robotics 2020 Multi-Annual Roadmap Initial Release B 15/01/2014
2. Qwik Connect. 2013, vol. 17. № 3, p.2–13.
3. Technology Development for Army Unmanned Ground Vehicles. National Academy Press, Washington DC, 2002, 181 p.

4. Report: Unmanned Systems Integrated Roadmap FY 2011–2036. Department of Defense, USA, 2011.
5. Report: Unmanned Ground Systems Roadmap. Department of Defense, USA, 06/2011.
6. Strategic Research Agenda for Robotics in Europe /eu Robotics 2014–2020 Robotics 2020 Draft 0v42 11/10/2013

*В.А. Дросс*

кандидат технических наук

*А.Н. Копытин*

*О.В. Яровикова*

Военная академия связи имени Маршала Советского Союза С.М. Будённого

## **ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ ЖИВУЧЕСТИ И НАДЕЖНОСТИ ОПТИЧЕСКОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ СВЯЗИ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

**АННОТАЦИЯ.** В статье рассматривается модель функционирования оптической транспортной сети связи специального назначения, описываемая функциональной зависимостью надежности и живучести, характеризующих ее работоспособность в условиях воздействия преднамеренных и непреднамеренных факторов. Предложены мероприятия по повышению показателей надежности и живучести ОТСС СН.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** надежность и живучесть сети, оптическая транспортная сеть, система управления сетью, воздействующие факторы, методы оценки живучести сети.

Надежность и живучесть являются одними из основных свойств, которым должна удовлетворять оптическая транспортная сеть связи специального назначения (ОТСС СН). Устойчивая работа ОТСС СН во многом определяется качеством функционирования ее системы технологического управления (СТУ). При рассмотрении СТУ ОТСС СН под объектом управления понимается техническое оборудование (сетевые элементы ОТСС СН), обеспечивающее передачу, распределение и резервирование разнородного трафика.

Современные системы управления строятся на основе аппаратно-программных средств и комплексов, позволяющих автоматизировать процесс управления, работают в масштабе реального времени, что позволяет своевременно предотвращать возникновение аварийных ситуаций, неисправностей и сбоев в ОТСС СН.

Устойчивость ОТСС СН к воздействию внутренних и внешних факторов характеризуется составляющими: живучестью, надежностью, помехоустойчивостью, помехозащищенностью [2].

К непреднамеренным воздействиям на ОТСС СН можно отнести: ошибки операторов узлов свя-

зи, непреднамеренные помехи (от радио средств своего узла), природные явления, техногенные, физико-географические и другие негативные факторы, приводящие к нарушению штатного состояния и функционирования сети, однако изначально не имеющие цели нарушить ее работу.

К преднамеренным воздействиям относятся факторы со стороны вероятного противника (ВП), имеющие целью нарушение информационного обмена в сети. На элементы ОТСС СН можно воздействовать различными средствами, к которым относятся: радиоэлектронные средства, информационные, огневые средства, высокоточные виды оружия, разведывательно-ударные комплексы с обычными и ядерными средствами поражения.

Общее понятие живучесть сети характеризует способность сети функционировать в условиях преднамеренного и непреднамеренного воздействия с сохранением в минимальном объеме своих возможностей по обеспечению связи [1, 5]. Понятие надежность характеризует внутреннее свойство технического объекта сохранять свои параметры в определенных пределах в заданных условиях функционирования [3, 5].

В [1] рассмотрены методы расчета живучести, классифицируемые на точные и приближенные. Практическое применение того или иного метода определяется постановкой задачи, имеющимися средствами автоматизации расчетов, точностью исходных данных, размерностью ОТСС СН.

Функционирование ОТСС СН напрямую зависит от указанных выше свойств, поэтому модель надежности и живучести ОТСС СН можно представить функционалом  $M^{\text{ОТСС СН}} = F(G, H)$ , где  $G$  — характеризует свойство живучести ОТСС СН;  $H$  — характеризует свойство надежности ОТСС СН.

В [3, 4, 6] рассмотрены критерии, показатели и методы расчета и повышения надежности различных технических объектов, элементов сетей связи, систем управления, методы анализа и синтеза технических средств по критериям надежности, методы определения оптимальной надежности. Качество функционирования ОТСС СН во многом зависит от функционирования СТУ. Оценить живучесть СТУ ОТСС СН можно вероятностью ее выживания, под которой будем понимать способность СТУ сохранять основные свойства, характеризующие функционирование системы при воздействии на нее внешних поражающих факторов преднамеренного и непреднамеренного характера [1, 2]

$$p_{\text{ВЫЖ}}^{\text{СТУ}}(t) = \left( 1 - \prod_{j=1}^z p_{\text{ПФ}}^{\text{СТУ}}(t) \right) \cdot \prod_{i=1}^z p_{\text{ПОВ}_i}(t),$$

где  $p_{\text{ПФ}}^{\text{СТУ}}(t)$  — вероятность  $j$ -го поражающего фактора на СТУ ОТСС СН в течение времени  $t$ ;  $p_{\text{ПОВ}_i}(t)$  — вероятность того, что  $i$ -й элемент СТУ ОТСС СН будет поврежден в результате  $j$ -го воздействия.

При проведении различных операций или боевых действий воздействие ряда внешних факторов на ОТСС СН может осуществляться одновременно. Поэтому ОТСС СН должна быть устойчива к их совместному воздействию.

При оценке живучести ОТСС СН необходимо учесть живучесть СТУ ОТСС СН, поскольку потеря управления сетью может привести к выходу из строя как ее фрагмента, так и саму сеть в целом. Оценка живучести ОТСС СН производят по вероятности ее выживания. Исходя из вышесказанного, вероятность выживания ОТСС СН при наличии  $z$  воздействий вероятного про-

тивника в течение времени  $t$  может быть оценена в соответствии с выражением

$$p_{\text{ВЫЖ}}^{\text{ОТСС СН}}(t) = \prod_{i=1}^z p_{\text{ВЫЖ}_i}^{\text{СТУ}}(t) \cdot \prod_{j=1}^z p_{\text{ВЫЖ}_j}^{\text{ОТСС СН}}(t).$$

В [1] для оценки живучести ОТСС СН предлагается использовать аналитический метод двудольных графов.

В формуле (1) не учитывается взаимосвязь элементов объекта воздействия. Поэтому в ряде случаев выход из строя незначительного количества элементов, в определенном их сочетании, может привести к переходу в неработоспособное состояние всей системы, в то время как выход из строя большого количества элементов в другом сочетании оставит объект (систему) работоспособным.

При оценке живучести ОТСС СН необходимо учесть ряд факторов, влияющих на значение вероятности выживания: действия операторов узлов связи, структура ОТСС СН, степень защиты ОТСС СН, состояние элементов ОТСС СН, взаимное удаление элементов ОТСС СН, расстояния от свершения воздействующего поражающего фактора, характеристика поражающего действия каждого воздействующего фактора.

В [5] критерием оценки живучести ОТСС СН является выражение,  $p_{\text{ВЫЖ}}^{\text{ОТСС СН}}(t) > p_{\text{ВЫЖ}_\text{тp}}^{\text{ОТСС СН}}(t)$ , где  $p_{\text{ВЫЖ}_\text{тp}}^{\text{ОТСС СН}}(t)$  — требуемая вероятность выживания ОТСС СН,  $p_{\text{ВЫЖ}}^{\text{ОТСС СН}}(t)$  задается, исходя из обеспечения требуемого качества управления ОТСС СН в данной обстановке. Как показывает опыт войн и военных конфликтов последнего времени как в нашей стране, так и за рубежом традиционно интенсивно используются средства огневого воздействия с обычными и ядерными средствами поражения, радиоэлектронного подавления. В то же время получают распространение компьютерные атаки, вирусы, программные и аппаратные закладки, которые с переходом к аппаратно-программному принципу построения средств и комплексов связи и управления по степени воздействия могут выйти на первый план. Поэтому при использовании вероятным противником огневого воздействия  $k$  боеприпасов с ядерными и высокоточными средствами поражения вероятность выживания ОТСС СН составляет

$$P_{\text{выжов}}^{\text{отсс сн}} = \prod_{j=1}^k \left[ 1 - p_{\text{б}j} \cdot p_{\text{д}j} \left( 1 - \exp\left(-\rho^2 \cdot R_j^2 / E_j^2\right) \right) \right],$$

где  $p_{\text{б}}$  — вероятность применения данного боеприпаса по ОТСС СН,  $0 < p_{\text{б}} < 1$ ;  $p_{\text{д}}$  — вероятность доставки боеприпаса до ОТСС СН с учетом технической надежности пуска-полета средства доставки и преодоления им различного рода противодействий;  $R_j$  — радиус поражения воздействующего фактора;  $E_j$  — вероятное отклонение центра взрыва боеприпаса от центра цели;  $\rho = 0,477$  — постоянная нормального закона.

Средствами компьютерной разведки может быть получен несанкционированный доступ (НСД) к закрытой управляющей информации СТУ ОТСС СН через сетевые элементы (волоконно-оптический кабель, оптические разъединители, микросхемы оборудования). С использованием данных, полученных средствами компьютерной разведки, а также доступа к каналу управления, к программному обеспечению СТУ возможно внедрение вирусов, программных закладок, навязывание ложных режимов работы средствам связи, выявление принципов работы СТУ и нарушение функционирования как отдельных элементов ОТСС СН, так и системы связи в целом. Вероятность НСД ВП к ресурсам СТУ ОТСС СН

$$P_{\text{НСД}} = 1 - \prod_{i \in n, g \in m} P_{\text{зи}_i} \cdot P_{\text{зи}_g}$$

где  $P_{\text{зи}_i}$  — вероятность успешной защиты информационных ресурсов  $i$ -ого элемента СТУ при осуществлении попытки НСД;  $P_{\text{зи}_g}$  — вероятность защиты информационных ресурсов  $g$ -ого элемента СТУ.

При использовании ВП  $b$  информационных воздействий на СТУ вероятность выживания

$$P_{\text{выжНСД}}^{\text{СТУ}} = \prod_{i=1}^b \left( 1 - P_{\text{НСД}_i} \right),$$

где  $P_{\text{НСД}_i}$  — вероятность НСД  $i$ -ого информационного воздействия вероятного противника.

Оценку надежности СТУ ОТСС СН производят по показателям, характеризующим безотказность системы и ее ремонтпригодность: коэффициент готовности  $K_{\text{г}}$  и коэффициент простоя  $K_{\text{п}}$  [3, 4, 6].

СТУ ОТСС СН может находиться в трех состояниях, определяющих надежность функци-

онирования: работоспособном, неработоспособном и неисправном, но работоспособном. Рассматривая такой подход, можно определить вероятность работоспособного, неработоспособного и неисправного, но работоспособного состояний СТУ ОТСС СН с помощью марковского процесса, на основе которого производился расчет надежности в [4]. При функционировании ОТСС СН в экстремальных условиях длительность цикла управления  $\theta$  СТУ будет не постоянной.

Введем следующие обозначения:  $\alpha$  — интенсивность отказов;  $\beta$  — интенсивность восстановления;  $P_{\text{р}}$  — вероятность безотказной работы подсистемы СТУ ОТСС СН;  $P_{\text{н}}$  — вероятность неработоспособного состояния подсистемы СТУ ОТСС СН;  $P_{\text{нр}}$  — вероятность неисправного, но работоспособного состояния подсистемы СТУ ОТСС СН. Подсистемы СТУ ОТСС СН будут сохранять работоспособное состояние при условии, что  $\alpha \ll \beta$ , соответственно, учитывая, что  $P_{\text{р}} + P_{\text{н}} + P_{\text{нр}} = 1$ ;  $P_{\text{р}} + P_{\text{нр}} = K_{\text{г}}$ ,  $P_{\text{н}} = K_{\text{п}}$ ,  $\beta = 1/T_{\text{в}}$ , где  $T_{\text{в}}$  — среднее время восстановления;  $T_{\text{п}} = T_{\text{в}} + \theta$ , где  $T_{\text{п}}$  — среднее время простоя;  $K_{\text{г}}$  — коэффициент готовности подсистемы СТУ ОТСС СН;  $K_{\text{п}}$  — коэффициент простоя подсистемы СТУ ОТСС СН, определяем вероятности состояний подсистемы СТУ ОТСС СН.

$$P_{\text{р}} = 1 / (1 + \alpha T_{\text{п}}), \quad P_{\text{н}} = K_{\text{п}} = \alpha T_{\text{в}} / (1 + \alpha T_{\text{п}}),$$

$$P_{\text{нр}} = \alpha \theta / (1 + \alpha T_{\text{п}}).$$

СТУ ОТСС СН состоит из подсистем, входящих в аппаратный и программный комплекс. Поэтому вероятность безотказной работы СТУ ОТСС СН можно определить

$$P_{\text{р}}^{\text{СТУ}} = \prod_{i=1}^l K_{\text{г}_i}^{\text{АК}} \cdot \prod_{j=1}^m K_{\text{г}_j}^{\text{ПК}},$$

где  $l = 8$ ;  $m = 6$ ;  $K_{\text{г}_i}^{\text{АК}}$  — коэффициент готовности подсистемы аппаратного комплекса СТУ ОТСС СН;  $K_{\text{г}_j}^{\text{ПК}}$  — коэффициент готовности подсистемы программного комплекса СТУ ОТСС СН.

Таким образом, модель надежности и живучести ОТСС СН может быть представлена в виде

$$M^{\text{отсссн}} = F \left( P_{\text{выж}}^{\text{отсссн}}, P_{\text{р}}^{\text{СТУ}} \right).$$

Таким образом, в процессе функционирования ОТСС СН на нее воздействуют различные деструктивные факторы преднамеренного и непреднамеренного характера, поэтому при оцен-

ке устойчивости ОТСС СН к их воздействию особое внимание уделено таким свойствам сети, как живучесть и надежность. Живучесть сети можно оценить вероятностью ее выживания,

надежность сети — вероятностью ее безотказной работы, которые позволяют учесть характер функционирования ОТСС СН в условиях деструктивного воздействия.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. **Дудник Б.Я.** Надежность и живучесть систем связи /Под ред. Б. Я. Дудника. — М.: Радио и связь, 1984. — 216 с.

2. **Ермишян А.Г.** Теоретические основы построения систем военной связи в объединениях, соединениях. Учебник. Часть 1. СПб.: ВАС, 2005—740 с. СПб.: БХВ-Петербург, 2006. — 704 с.

3. **Половко А.М., Гуров С.В.** Основы теории надежности. СПб.: БХВ-Петербург, 2006. — 704 с.

4. **Суторихин Н.Б., Бузов П.Н.** Методы определения оптимальной надежности элементов сетей связи /Под ред. Н. Б. Суторихина. — М.: Связь, 1979. — 104 с.

5. Теоретические основы построения систем военной связи в объединениях и соединениях. Учебник. Часть 2. СПб: ВАС, 2007. 540 с.

6. **Misra K.B.** On optimal reliability design: A review, *SistemScience*, 12, 5–30, 1986.



*А.Г. Ермишян*

доктор военных наук, ОАО «СУПЕРТЕЛ»

*Г.В. Сызранцев*

доктор военных наук, ОАО «СУПЕРТЕЛ»

*Д.Е. Пузанов*

ФГБУ «Центр МИР ИТ»

## ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К АСУС

**АННОТАЦИЯ.** Статья является продолжение ряда статей по теоретическим основам построения автоматизированных систем управления связью. В статье представлены общие требования к средствам связи, системе управления связью и ее элементам, требования к обеспечения систему управления связью и ее элементов, даны интервальные значения вероятностных показателей качества функционирования автоматизированной системы управления связью по шкале желательности Харрингтона.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** управление связью, система управления связью, элемент системы управления связью, требования к системе управления связью, шкала желательности Харрингтона.

Управление связью должно обеспечивать успешное выполнение задач по связи в установленные сроки, любых условиях обстановки с главной целью — повышение результативности управления государственного, ведомственного, группировкой, организацией и др. Для этого АСУС и ее элементы — органы, пункты, объекты и средства (техника) управления должны на основе применения новых информационных технологий и систем обеспечивать выполнение, главным образом, следующих общих требований к ее оперативно-тактическому облику:

- полную (комплексную) автоматизацию — требуемую степень автоматизации выполнения функций управления связью во всех видах управления и уровнях его иерархии (80 %);

- соответствие организационным структурам систем связи и АСУ;

- высокую готовность к применению, устойчивость, непрерывность, скрытость и территориальный размах;

- требуемую оперативность функционирования, позволяющую управлять связью в режиме реального времени или близком к нему;

- эффективное функционирование в АСУ;

- централизованное (с различной степенью) автоматизированное управление штатными и приданными силами и средствами связи;

- своевременный автоматизированный информационный обмен между элементами, входящими в ее состав, и с сопрягаемыми объектами других систем.

В виду особой важности необходимо выделить общие требования к *средствам управления связью*. К ним главным образом относятся:

- высокая скорость передачи и приема сообщений (информации), ввода информации, ее обработки и выдачи результатов в удобной для восприятия должностными лицами по связи форме;

- необходимая точность выдаваемых результатов;

- высокая надежность работы всего комплекса технических средств и каждого средства в отдельности;

- надежность сохранения и сокрытия (защиты) информации во всех элементах АСУС;

- широкие возможности по накоплению необходимой информации;

- построение комплексов технических средств на типовых унифицированных элементах, учитывающих, однако, необходимую специфику связной работы;

- высокая надежность связи между элементами АСУС и между ними и сопрягаемыми объектами других систем;

— малые габариты и весовые характеристики комплекса технических средств;

— малая потребляемая мощность электропитания.

В условиях ведения современных оперативных и тактических действий специального назначения в качестве общих требований выступают и конкретные характеристики *свойств связи и систем связи*, соответственно: своевременности, достоверности, безопасности и готовности к применению, устойчивости, мобильности, пропускной способности, доступности ресурсов системы связи, защищенности, управляемости.

Кроме того, АСУС и ее элементы должны:

— обеспечивать устойчивое, непрерывное, оперативное, скрытое, адекватное, адаптивное и качественное автоматизированное управление, качественную повседневную управленческую деятельность (работу) и оперативную подготовку органов управления связью;

— предоставлять органам управления АСУ требуемые виды информационного обмена и необходимые ресурсы (услуги) связи, в том числе новые (телематические службы, навигация, опознавание и др.);

— соответствовать структуре, численности и размещению создаваемых группировок, в интересах управления которыми они создаются;

— создавать автоматические сети связи общего пользования;

— иметь высокие (требуемые) оперативно-тактические, оперативно-технические и тактико-технические характеристики комплексов средств автоматизации управления и связи на основе перспективных систем, комплексов (аппаратных) и средств, создаваемых на основе широкого использования новых информационных технологий и систем;

— внедрять и применять новые информационные технологии и системы в процессе автоматизированного управления связью;

— обеспечивать решение задач по автоматизированному управлению наиболее важными системами в режиме реального времени.

Построение и применение объектов (подсистем, элементов) АСУС должно обеспечиваться:

— информационным и лингвистическим, математическим, программным и техническим, организационным и правовым, методическим, социальным и психологическим, технологическим, экономическим и иным обеспечением;

— созданием новых и совершенствованием старых методов, способов, приемов, алгоритмов,

методик и моделей работы должностных лиц аппарата управления по управлению связью и руководству ее поддержанием в мирное и военное время;

— разработкой и совершенствованием вопросов функционирования и применения АСУС в перспективных формах оперативных действий специального назначения;

— своевременным и научно обоснованным прогнозированием развития автоматизированной системы управления связью.

В современных и перспективных условиях подготовки и функционирования АСУС ее элементы должны выполнять и другие требования, которые имеют вероятностный характер. Эти требования, согласно выполненным расчетам по соответствующим формулам (зависимостям) и с учетом обобщенной функции (шкалы) желательности Харрингтона [1], должны находиться в интервале 0,999–0,8. Сразу отметим, что данные требования не следует путать с требованиями, которые порою ошибочно рассчитываются не на основе факторов (причин, обстоятельств, условий) ведения конкретных действий (оперативных, тактических), а на основе потенциальных технических возможностей тех или иных средств. Поэтому ниже дадим перечень оперативно-тактических требований, носящих специализированный характер. Они обусловлены условиями и требованиями подготовки и ведения современных оперативных (тактических) действий специального назначения. При этом в виду особой значимости выделим и кратко охарактеризуем 10 требований к АСУС. Это: постоянная готовность к применению; живучесть; помехоустойчивость; надежность; гибкость; мобильность; скрытость; территориальный размах; оперативность; реализация потенциальных возможностей группировки.

Требование *постоянной готовности к применению*. Это требование предполагает, что в любых условиях обстановки АСУС и ее элементы должны быть готовы к оперативному и качественному автоматизированному выполнению функций управления связью. Необходимо стремиться к тому, чтобы при переходе из одного состояния (степени готовности) к другому АСУС не требовала перестройки, а если последняя не может быть исключена, то она должна быть сведена к минимуму. Данное требование предполагает необходимость наличия характеристики, связанной с продолжительностью приведения АСУС в требуемую степень готовности при ус-

ловии практической невозможности точного предвидения того, в какое время и в каком состоянии застанет данную систему команда на изменение состояния, когда, чем и с какой силой будут воздействовать на нее внешние деструктивные факторы различного характера. Требуемое значение вероятности своевременной реакции АСУС на действия (функционирование объектов) деструктивных воздействий в любой момент времени поступления сигнала на изменение состояния, должно быть, не ниже 0,9, а требуемая вероятность своевременной реакции любого ее элемента — не ниже 0,995.

Требование к *живучести* заключается в том, что элементы АСУС должны сохранять и быстро восстанавливать свою работоспособность в условиях активного воздействия различных деструктивных факторов различного характера. Живучесть АСУС зависит от живучести ее элементов, которые должны сохранять работоспособность (функционирование) в любых условиях функционирования. Требуемая вероятность сохранения работоспособности элемента АСУС в любой момент времени функционирования должна быть не ниже 0,8, а требуемая вероятность сохранения работоспособности АСУС в условиях деструктивного воздействия в любой момент времени должна быть не ниже 0,999.

Требование к *помехоустойчивости* заключается в том, что АСУС должна функционировать в условиях всех видов помех (преднамеренных, случайных). Наиболее важным требованием, характеризующим помехоустойчивость АСУС, является ее помехозащищенность, которая характеризует способность данной системы обеспечивать управление силами и средствами связи в условиях воздействия преднамеренных помех. Помехоустойчивость АСУС должна быть высокой. Для ее обеспечения в части электромагнитной совместимости своих радиоэлектронных средств и противодействия случайным помехам должны проводиться соответствующие мероприятия. Поэтому, например, вероятность исправного действия элементов АСУС должна быть не ниже: по электромагнитной совместимости — 0,98, по случайным помехам — 0,95. Вместе с тем понятно, что при наличии оппозиционно настроенных сил (группировок) преднамеренных помех избежать не удастся и при условии принятия защитных мер. Однако к снижению уровня этих помех необходимо стремиться всеми способами (приемами). Требуемый уровень указанной вероятности в любых условиях должен быть не ниже 0,9.

Требование к *надежности* функционирования АСУС заключается в том, что все ее элементы должны сохранять способность функционировать в условиях отсутствия выхода из строя (потерь) техники — комплексов средств автоматизации управления и связи, средств связи, должностных лиц по связи по причине деструктивных воздействий различного характера, сохраняя во времени значения эксплуатационных показателей в требуемых пределах, соответствующих заданным режимам и условиям использования, обслуживания, восстановления и ремонта техники, а также сохраняя в пределах требуемого времени безошибочную работу должностных лиц по связи. Вероятность надежного функционирования АСУС должна быть не ниже 0,9, а вероятность надежного функционирования любого ее элемента — не ниже 0,995.

Требование к *гибкости* функционирования АСУС заключается в том, что система должна быть способна обеспечивать: переход от одних форм, методов, способов и структур управления к другим; перенос управления с одних пунктов управления на другие; сопряжение с другими АСУ; решение новых расчетных и информационных задач управления связью; включение в состав системы новых элементов автоматизированного управления и связи, других технических средств. Для реализации этих требований система должна быть способной быстро перестраиваться. Это зависит от ее элементов. Требуемый уровень вероятности своевременной адаптации элементов АСУС к изменившимся условиям должен быть не ниже 0,99, своевременной адаптации всей АСУС к изменившимся условиям в любой период времени — не ниже 0,9.

Основное требование к *мобильности* функционирования АСУС заключается в том, что она должна обладать высокой подвижностью (физической, структурной и потоковой). Это возможно при высокой подвижности всех ее элементов, прежде всего, пунктов управления связью, комплексов средств автоматизации управления и связи, отдельных подвижных средств связи, наличии высокоскоростных каналов сетевого технологического управления, автоматизации процессов технологического управления системой (сетью) связи. Поэтому, например, требуемое значение вероятности (степени) подвижного функционирования любого элемента данной системы должна быть не ниже 0,99, а АСУС в целом — не ниже 0,9. Вероятность выполнения автоматизированной функции се-

тевого технологического управления должна быть не ниже 0,999, вероятность своевременного выполнения автоматизированных функций сетевого технологического управления — не ниже 0,95.

Требование *скрытости* функционирования АСУС заключается главным образом в способности системы обеспечить: сохранение в тайне факта обмена данными, информацией, используемой для управления связью, прежде всего об АСУС, ее элементах, положении, состоянии и характере действий сил и средств связи; закрытость каналов связи и передачи информации; большую продолжительность времени дешифрирования перехваченной противником информации; защиту информации от НСД к ней и вводу ложной информации в элементы АСУС. На основе изложенного допустимое значение вероятности утечки информации из любого элемента АСУС должно составлять, например не более 0,001. Требуемая вероятность скрытого функционирования АСУС должна быть не ниже 0,99, а ее элемента — 0,999.

Требование к *территориальному размаху* функционирования АСУС заключается в том, что она должна быть способной обеспечивать: потребности управления силами и средствами связи в отношении пространственной протяженности действий группировки, их профессиональные и маневренные возможности, пространственные границы действий в целом, которые постепенно, но постоянно увеличиваются; функционирование необходимого количества пунктов управления связью, КСА управления и связи и других абонентов в каждой инстанции управления; необходимую дальность связи между абонентами и, в итоге, сбор необходимой информации с определенной площади — единого информационного пространства. В последнем и заключается квинтэссенция требований к размаху функционирования данной системы (с вероятностью не ниже 0,99 для АСУС и 0,999 — для ее элемента).

Требование к *оперативности* функционирования АСУС заключается в том, что система должна быть способной обеспечить (с вероятностью не ниже 0,99 для АСУС и 0,999 — для ее элемента) в режиме реального времени или близком к нему: постоянное знание обстановки и ре-

агирование на ее изменения; сбор, обработку, формирование и передачу информации о состоянии системы и условий функционирования, в том числе информации управления и информации состояния в АСУС, информации о физико-географических условиях и другой необходимой информации; принятие обоснованных решений по связи; своевременную постановку подчиненным задач по связи; планирование связи и его уточнение; организацию устойчивой и скрытой связи и взаимодействия; вывод и развертывание сил и средств связи, подготовку их к применению (работе, эксплуатации, функционированию и т. п.), организацию и поддержание связи; уточнение поставленных подчиненным задач и принятых решений; применение должностными лицами по связи технических средств автоматизации управления и связи, и рациональных методов работы; выполнение всеми элементами АСУС поставленных задач в заданные (директивные, требуемые) сроки.

Сущность требований к АСУС и ее элементам в отношении обеспечения заданной *степени реализации потенциальных возможностей группировки* в оперативных (тактических) действиях относительно возлагаемой на них доли по достижению поставленных задач заключается в передаче соответствующим руководителям своевременных, достоверных, точных и полных данных об обстановке и условиях выполнения задач. Поэтому, например, значение требуемой вероятности реализации потенциальных возможностей группировки должно быть не ниже 0,998. Таким же должен быть требуемый уровень эффективности управления связью.

Выполнение указанных требований может быть достигнуто главным образом организацией и осуществлением оперативных и технических мероприятий на основе новых информационных технологий и систем. При этом АСУС и ее элементы должны иметь доступ к большому объему постоянно обновляемой информации, своевременно ее обрабатывать, наглядно отображать результаты этой обработки для соответствующей оценки и подготовки необходимых выводов, выработки предложений, принятия правильных решений, своевременно передавать необходимую информацию (сообщения) по назначению и др.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Адлер Ю.П. и др. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. Изд. 2-е. М.: Наука, 1976. 280 с.



*А.Г. Ермишян*

доктор военных наук, ОАО «СУПЕРТЕЛ»

*А.М. Севериненко*

ОАО «Концерн «Автоматика»

*А.Н. Даниленко*

УССИ ФСО России С-3 ФО

## ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ И ЗАДАЧИ ПОСТРОЕНИЯ АСУС

**АННОТАЦИЯ.** Статья открывает серию статей по теоретическим основам построения автоматизированных систем управления связью. В статье представлены основные принципы и задачи построения автоматизированных систем управления связью.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** автоматизированная система управления связью, принципы построения системы управления связью, общие и частные задачи построения системы управления связью.

Возрастание роли и значения управления, усложнение его характера и усиление зависимости успешного выполнения задач от качества управления наиболее характерно для организаций (предприятий, частей) связи. Для обеспечения устойчивого и оперативного управления создаваемыми группировками специального назначения в условиях современности требуется создавать все более сложные системы связи, включающие большое количество узлов, линий и других объектов связи. Достижение единых, целенаправленных и согласованных действий всех элементов системы и организаций связи при выполнении задач связи по обеспечению безопасности страны представляет собой трудоемкую задачу, решаемую системой управления связью (автоматизированной системой управления связью (АСУС)).

Постоянное и эффективное управление связью в современных условиях может быть достигнуто на основе глубокого и всестороннего анализа и прогнозирования складывающейся обстановки, принятия обоснованных решений, четкой организации работы подчиненных и применения автоматизированных средств управления связью. По этой причине необходимыми условиями качественного выполнения должностными лицами по связи поставленных задач в сложных условиях современной обстановки

является знание научных основ управления связью и должностных обязанностей, приобретение твердых практических навыков и умений в планировании связи и управлении ею при подготовке и в ходе выполнения задач по связи.

В теоретическом и практическом отношении построение перспективной автоматизированной системы управления связью включает главным образом следующую триаду:

- 1) основные принципы и задачи построения АСУС;
- 2) общие требования к АСУС и ее типовой состав;
- 3) главные проблемные направления построения АСУС.

Рассмотрим более подробно основные принципы и задачи построения АСУС.

### Принципы

Для обеспечения строительства стационарной и полевой (стационарно-мобильной) АСУС необходимо соблюдать ряд основных принципов, которые вытекают из определения содержания и специфики данной системы. По крупному таким принципам выступают:

— организационное и техническое единство различных (научных, организационных, технических, специализированных, социальных и т. д.) концепций по связи, обеспечивающее



принятие согласованных решений при управлении ресурсами связи;

- системность, способная обеспечить применение системного научного подхода к строительству АСУС;

- иерархическое единство назначения, цели, задач и функций подсистем АСУС и входящих в их состав элементов;

- применимость в АСУС новых информационных технологий и систем, компьютерных и телекоммуникационных сетей, передовых средств связи, информационно-вычислительных, аппаратно-программных и иных средств, методов, способов, приемов, алгоритмов, методик и моделей;

- типизация и унификация, обеспечивающие использование опыта создания и организации управления определенных аналогов АСУС;

- универсальность функционирования и технологии, позволяющая обеспечить информационные потребности должностных лиц аппарата управления и обслуживающего персонала органов, пунктов, объектов и отдельных средств управления систем управления связью различных видов государственного управления и уровней его иерархии в мирное и военное время;

- рациональное сочетание степеней централизованного управления связью, обеспечиваемое иерархичностью структуры и распределением функций управления и их элементов;

- информационная (в том числе лингвистическая), техническая, программная, организационная и иная совместимость элементов АСУС, способная обеспечить их сопряжение при управлении сетями, комплексами (аппаратными) и средствами связи, входящими в АСУС и представляющими ресурсы (каналы, тракты) связи;

- информационная (в том числе лингвистическая), техническая, программная и организационная совместимость АСУС и ее элементов с элементами ЕСЭ РФ, с автоматизированными системами управления (АСУ) других взаимодействующих сетей (систем, подсистем, элементов) связи специального назначения;

- интегративность, позволяющая устранить излишнее дублирование, параллелизм, резервирование, функциональную избыточность в контурах управления связью (сетями связи);

- персонификация, обеспечивающая установление личной, персональной ответственности должностных лиц аппарата управления и об-

служивающего персонала АСУС за порученный участок работы, как средство, придающее четкость их работе и функционированию техники;

- взаимосвязь между отдельными элементами АСУС, ее управляющей и управляемой подсистемами, между определенной (конкретной, данной) и вышестоящей, и нижестоящими (подчиненными) системами, а также взаимодействующими (соседними) АСУС посредством технической подсистемы (подсистемы средств управления);

- соответствие АСУС всем предъявляемым требованиям со стороны АСУ создаваемой группировки, прежде всего, по обеспечению оперативности, устойчивости, непрерывности, скрытости, адекватности, адаптивности и качеству управления, в том числе собственно связью;

- обеспечение в отношении связи реализации потенциальных возможностей организаций (предприятий, частей), информационного противоборства, всех видов обеспечения и защиты в мирное и военное время, а также успеха подготовки и ведения оперативных (тактических) действий специального назначения;

- преодоление объективных противоречий, в соответствии с которыми необходимо понимание того, что АСУС в целом, каждая ее подсистема и каждый элемент в отдельности возникают не на пустом месте, а зарождаются в недрах и противоречиях функционирующих «вручную» систем связи (систем управления связью) министерств (ведомств, отдельных отраслей, концернов, организаций, частей, подразделений и др.);

- эволюционность, преемственность, относительно непрерывное развитие и поэтапный ввод АСУС в эксплуатацию, способные обеспечить техническое развитие элементов данной системы, автоматизацию движения информации, рациональное перераспределение отдельных функций управления и их составляющих, поэтапное наращивание, прежде всего, информационной, лингвистической, технической, математической программной, методической и организационной базы любой АСУС, совершенствование имеющихся и внедрение новых информационных технологий и систем, наличие информационных и расчетных (информационно-расчетных, расчетно-информационных) задач, их комплексность и информационную взаимосвязь.

## Задачи

Задачи систем связи в целом соответствуют и задачам АСУС. Исходя из этого и содержания представленных выше принципов, выделим лишь задачи, сугубо присущие АСУС.

Предварительно отметим, что задачи АСУС любого вида автоматизированного управления и уровня его иерархии обуславливаются: принятой (построенной) системой управления и системой управления связью; стоящими перед соответствующей системой управления связью, целями и задачами, ее ролью и местом в вышестоящей системе управления связью; требованиями действующих уставных документов, определяющих применение создаваемой группировки в специальных действиях; уровнем оперативной (тактической), тактико-специальной и технической подготовки операторов связи; оперативно-техническими и тактико-техническими возможностями техники связи и средств автоматизации управления; организацией всестороннего обеспечения применения систем (организаций, частей, подразделений) связи в оперативных (тактических) действиях; возможностями АСУС технологически развитых зарубежных стран (эвентуальных противников).

Задачи АСУС вытекают из общих и частных задач организаций (предприятий, частей) связи, АСУ различного назначения.

Задачи АСУС включают обеспечение:

- приведения существующей АСУС в соответствие с требованиями оснащения современных систем связи перспективными комплексами (аппаратными, средствами) связи и автоматизации управления и связи, способными к качественному наращиванию возможностей по управлению группировками различного назначения и собственно связью;

- внедрения, повседневной эксплуатации и технического обслуживания, принятых на снабжение комплексов (аппаратных, средств) связи и автоматизации управления и связи;

- устойчивой работы элементов инфотелекоммуникаций, информационно-вычислительных систем (подсистем) на пунктах управления и сетей передачи данных в АСУ всех группировок, создаваемых для ведения специальных действий;

- своевременного — в установленные сроки (в режиме реального времени) — и качественного обмена в автоматизированном контуре

- управления всеми видами информации (сообщений) требуемого объема между органами, пунктами, объектами и средствами управления любого вида государственного (ведомственного) управления, уровня его иерархии в мирное и военное время;

- реализации концепции перевода системы связи на цифровые системы передачи и коммутации, технологии мирового уровня;

- автоматизированного выполнения функций управления. При этом особое внимание необходимо обратить на применение информационно-телекоммуникационных систем (сетей) и передовых средств связи, новых информационных технологий и систем; автоматизированную поддержку принятия решений; распределенное автоматизированное планирование связи; автоматизированное и автоматическое устойчивое функционирование системы (сетей) связи, ее подсистем и входящих в их состав элементов в любых видах государственного (ведомственного) управления и уровнях его иерархии в мирное и военное время;

- информационной, лингвистической, программной, технической, организационной и иной совместимости и сопряжения всех элементов АСУС, сетей технологического управления, передачи данных и служебной связи;

- автоматического управления распределением входящей и автоматизированного управления распределением исходящей информации;

- интеграции информации, совершенствования форм и способов ее обработки и представления в интересах повышения качества подготовки необходимых решений по связи;

- в отношении связи общей автоматизированной информационной поддержки применения организаций (частей, подразделений) и систем связи;

- надежного и быстро реагирующего на изменение потребностей в связи управления сетевыми ресурсами, услугами;

- в отношении связи сокращения продолжительности цикла управления группировками и собственно связью;

- защиты информации, циркулирующей в АСУС;

- формирования баз данных и баз знаний.

Особо отметим, что создание современной (перспективной) АСУС должно способствовать преодолению имеющегося отставания от технологически развитых зарубежных стран (эвенту-

альных противников) в своевременности и качестве сбора, обработки и распределения (передачи, прохождения, приема) информации, чтобы лишить их в этом отношении информационного превосходства.

Таким образом, любая АСУС — сложная, способная успешно развиваться автоматизированная организационно-техническая система распределенного типа. Она призвана являться подсистемой АСУ всеми видами автоматизированного государственного управления. От своевременной, устойчивой и скрытой работы ее органов, пунктов, объектов и средств управления напрямую зависит своевременность и качество функционирования этих АСУ и собственно АСУС, обеспечение эффективного функционирования всех ее стационарных и мобильных подсистем и входящих в их состав элементов.

В настоящее время в ЕСЭ РФ создана система централизованного управления сетями электросвязи всех категорий на случаи возникновения кризисных ситуаций, чрезвычайных ситуаций, чрезвычайного положения и централизованного мониторинга сетей. При этом основными задачами системы централизованного управления ЕСЭ являются: централизованный сбор, хранение, преобразование и интегриро-

ванное представление информации о состоянии и функционировании сетей связи; контроль маршрутизации нагрузки между сетями операторов связи; предоставление информации для планирования и оперативного управления сетями связи в периоды кризисных ситуаций, чрезвычайных ситуаций и чрезвычайного положения, а также в период сугубо военного времени. Следовательно, создаваемая АСУС призвана тесно взаимодействовать с системой централизованного управления ЕСЭ РФ, как на высшем уровне, так и в регионах.

Вместе с тем необходимо отметить, что задачи АСУС могут постепенно, но постоянно расширяться и усложняться. Основная причина — изменение условий, форм и способов подготовки и ведения специальных действий, создание новых автоматизированных и автоматических средств управления, в том числе связи, появление новых информационных технологий и систем, нарастание противоречий между повышающимся объемом, важностью и сложностью передаваемой информации, необходимой для серьезной оценки обстановки, принятия решений, применения выработанных (полученных) данных, и сокращением допустимого времени на ее сбор, обработку и передачу.

*А.Г. Ермишян*

доктор военных наук, ОАО «СУПЕРТЕЛ»

*Л.А. Берляев*

ОАО «НИИССУ»

*В.В. Туренко*

ОАО «ВНИИНС» имени В.В. Соломатина

## ТИПОВОЙ СОСТАВ АСУС

**АННОТАЦИЯ.** Статья является продолжением ряда статей по вопросам построения автоматизированной сети управления связью. Представлен типовой состав АСУС по организационному и функциональному признакам.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** автоматизированная система управления связью, пункт управления, узел связи, пункт управления связью, орган управления, объект управления.

Исходя из принципов, задачи требований к автоматизированной системе управления связью она может и должна включать определенный типовой состав.

Так, структура автоматизированной системы управления связью, построенная по *организационному признаку*, призвана иметь три автоматизированные подсистемы — управляющую, управляемую и техническую.

Управляющая подсистема состоит из органов и пунктов управления, управляемая — из объектов управления, а техническая — из средств управления связью.

*Орган управления связью* — целостная, взаимосвязанная и целенаправленно действующая совокупность должностных лиц аппарата управления АСУС, наделенная определенной ответственностью, правами и обязанностями (властными полномочиями и правом принятия решений по связи); объект управления со стороны органа управления вышестоящего уровня иерархии управления.

Органами управления связью являются руководители (начальники) и штабы формирований связи и специальные органы — управления (отделы, отделения, группы, комендатуры и т. д.) связи, а также отдельные должностные лица этих штабов и специальных органов связи.

Для размещения и работы органов управления связью при их нахождении в районе выполнения задач по предназначению, а в необходимых случаях и на дежурстве, строятся (оборудуются) и развертываются соответственно стационарные и полевые пункты управления связью.

*Стационарный пункт управления связью* — находящийся в определенном месте дислокации (оперативного построения) группировки специально оборудованный — оснащенный информационными, техническими, программными, организационными и иными системами, комплексами и средствами пункт, в котором размещается часть соответствующего органа или весь орган управления связью, и с которого осуществляется управление связью в мирное и военное время — при подготовке и в ходе ведения специальных действий, в период боевого дежурства, проведения плановых занятий, тренировок или учений различного назначения, масштаба и характера.

*Полевой пункт управления связью* — находящийся в определенном месте оперативного построения группировки (организации, части, подразделения) или находящийся в движении специально оборудованный — оснащенный информационными, техническими, программными, организационными и иными системами,

комплексами и средствами пункт, в котором размещается часть соответствующего органа или весь орган управления связью, и с которого осуществляется управление связью в мирное и военное время — при подготовке и в ходе ведения специальных действий, в период боевого дежурства, проведения плановых занятий, тренировок или учений различного назначения, масштаба и характера.

Пункт управления связью — объект управления со стороны пункта (пунктов) управления вышестоящего уровня иерархии управления.

Органы и оперативный состав пунктов управления связью осуществляют управление объектами управления связью.

*Объект управления связью* — любой объект (элемент) АСУС, воспринимающий специально организованные управляющие воздействия со стороны органа (пункта) управления связью этого же и (или) вышестоящего уровня иерархии управления.

В любой АСУС в качестве объектов управления, как правило, выступают оснащенные средствами автоматизации штатные и приданные формирования связи, органы, пункты управления связью (штабы), нижестоящие на один уровень иерархии управления связью (иногда и более), а также элементы системы управления связью и отдельные объекты связи.

В автоматизированной системе управления связью создаваемой группировкой при ведении специальных действий могут развертываться следующие пункты управления связью:

— пункты управления связью на основных пунктах управления группировкой и, входящих в ее состав приданных оперативных объединений, соединений, частей и отдельных предприятий (организаций), а также создаваемых элементов оперативного построения группировки. Например, пункты управления основного, запасного, вспомогательного и др. пунктов управления. Могут создаваться пункты управления связью отдельных служб, видов обеспечения и специального назначения, например, управления полетами, метеослужбы, связи с общественностью и др.;

— пункты управления элементами системы связи: пункты управления зонами связи, начальников направлений связи, линиями связи, узлами связи различного назначения и их элементами, отдельными пунктами связи (ретран-

сляционными, переприемными, усилительными (регенерационным) и др.);

— основные и запасные пункты организаций, частей и пункты управления подразделений связи.

Все пункты управления связью соединены между собой соответствующими функциональными связями, образуя систему пунктов управления связью (рис.) при ведении специальных действий создаваемой группировкой.

Пункт управления связью, развертываемый на основном пункте управления группировкой, является основным в системе управления связью. С него начальник связи лично и через начальников (руководителей) служб управления (отдела, отделения) связи и через дежурную смену расчета пункта управления связью осуществляет управление всей системой связи группировки.

Пункт управления связью, развертываемый на запасном пункте управления группировкой является постоянно действующим и находится в постоянной готовности к выполнению функций основного пункта управления связью. Кроме того, расчет пункт управления связью на запасном пункте управления решает задачи по управлению связью, организуемой от запасного пункта управления.

При организации и развертывании других (дополнительных) пунктов управления группировкой специального назначения пунктов управления связью этих пунктов управления осуществляется управление связью, организуемой от них.

На пункты управления элементов системы связи, организаций (предприятий, частей и подразделений) связи возлагаются задачи по управлению действиями личного состава при развертывании, эксплуатационном обслуживании, свертывании, перемещении и восстановлении элементов системы связи создаваемой группировки.

Кроме пунктов управления связью организуется управление отдельными элементами системы связи, действующими автономно или на большом удалении от основной группировки. Это: аппаратная (станция) связи, штабные машины, машины автоматизированных рабочих мест должностных лиц системы управления связью, отдельная автомобильная радиостанция и др.



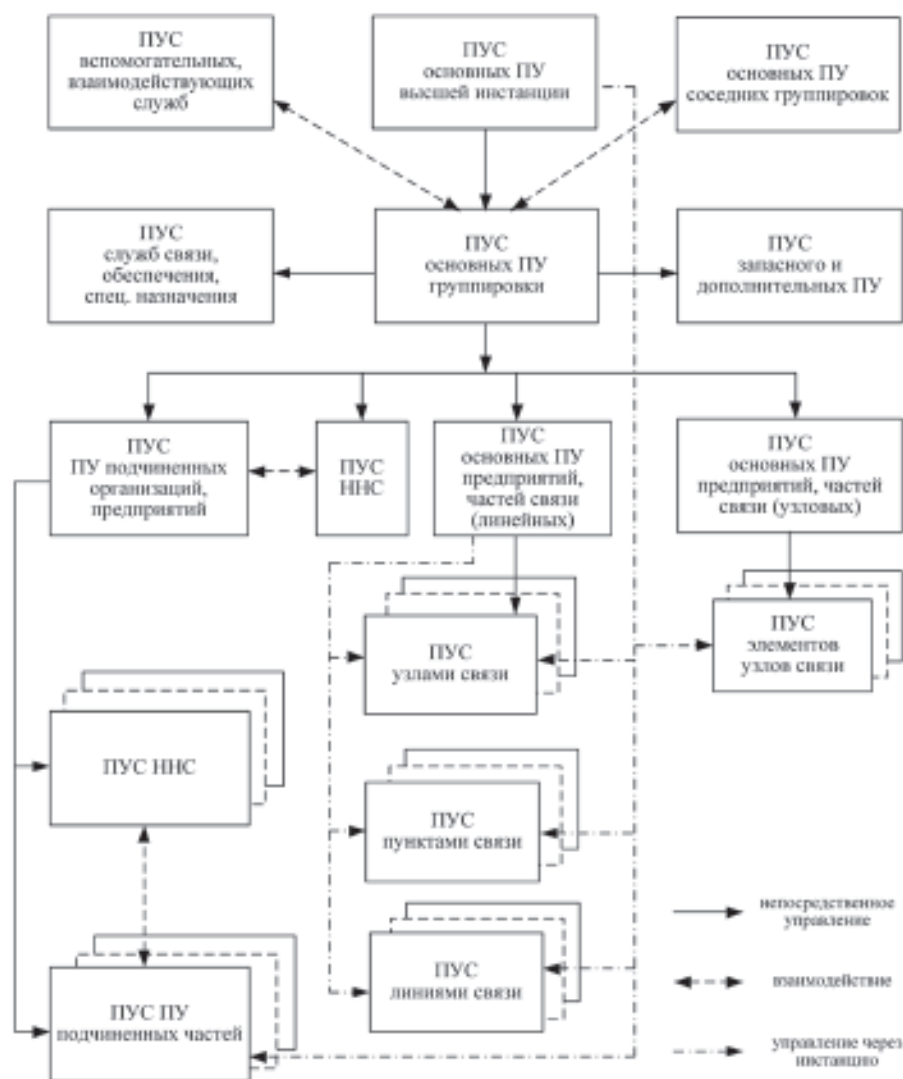


Рис. Система пунктов управления связью создаваемой группировки

*Средства управления* (техническая подсистема) — это средства связи, комплексы средств автоматизации управления и связи, аппаратные средства связи, размещенные отдельно на пунктах и объектах управления связью, а также средства связи и автоматизированные средства управления и связи, оборудованные на элементах АСУС типа штабных машин (машин автоматизированных рабочих мест).

Отметим также, что в АСУС должны на основе использования внедренных новых информационных технологий и систем одновременно применяться информационные, технические, программные, организационные и иные необходимые средства, соответствующие методы, способы, приемы, алгоритмы, методики и мо-

дели работы должностных лиц аппарата управления и обслуживающего персонала данной системы. При этом АСУС может быть стационарной или полевой (мобильной) или стационарно-мобильной. В состав технической подсистемы (подсистемы средств управления) АСУС может входить и центр по эксплуатации программного обеспечения, а в управляющую подсистему, при необходимости, и развертываемая на военное время комендатура связи. Кроме того, в АСУС должны функционировать сети информационного обмена органов управления системы, в частности, сети командно-диспетчерской связи, обмена данными и сети внутриузловой (внутрисетевой) служебной связи.

*По функциональному признаку* в АСУС можно выделить следующие семь уровней:

1) уровень планирования и организации связи. При этом задачи планирования и организации связи решаются на автоматизированных рабочих местах должностных лиц управлений (отделов, отделений) связи;

2) уровень оперативного управления связью. Данный уровень охватывает административное управление дежурными сменами на ПУС;

3) уровень оперативного управления сетями связи по видам и родам связи. Включает работу на автоматизированных рабочих местах соответствующих должностных лиц пунктов управления связью (уровня планирования и организации связи и уровня оперативно-технического управления сетями связи);

4) уровень оперативно-технического управления сетями связи по видам и родам связи. Охватывает работу на автоматизированных рабочих местах должностных лиц пунктов управления сетями связи и их участками;

5) уровень оперативно-технического управления участками сетей связи. Охватывает работу на автоматизированных рабочих местах должностных лиц пунктов управления связью старшего и подчиненного участков в зоне связи;

6) уровень оперативно-технического управления узлом связи. Охватывает работу на автоматизированных рабочих местах должностных лиц пункта управления узлом связи, пункта управления эксплуатацией узла связи, а также работу на автоматизированных рабочих местах начальников этих пунктов и начальников дежурных расчетов смен на узле связи;

7) уровень технологического управления сетями связи по видам и родам связи на узлах связи. Охватывает работу на автоматизированных рабочих местах должностных лиц по эксплуатации узла связи и номеров дежурного расчета смен, а также средств связи и комплексов средств автоматизации управления связью.

*А.А. Ковальский*

*С.Х. Зиннуров*

Военно-космическая академия имени А.Ф.Можайского

## **ОПЕРАТИВНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РАДИОРЕСУРСА СПУТНИКА-РЕТРАНСЛЯТОРА ПРИ НЕСТАЦИОНАРНОМ ВХОДНОМ ПОТОКЕ СООБЩЕНИЙ**

**АННОТАЦИЯ.** В статье сформулированы задачи оперативного распределения (резервирования) радиоресурса спутника-ретранслятора в виде задачи нелинейного программирования и приведен пример ее решения при обслуживании нестационарного потока сообщений, формируемого группой речевых абонентов. В качестве модели нестационарного потока сообщений, формируемого речевыми абонентами с учетом подавления сигнала в паузах, использован модулированный марковский процесс и его частный случай — прерываемый пуассоновский процесс.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** спутник-ретранслятор, радиоресурс, земная станция, прерываемый пуассоновский поток, модулированный марковский процесс, нелинейное программирование, речевой трафик.

Необходимость применения систем спутниковой связи (ССС) при организации доступа к современным инфокоммуникационным услугам особенно отчетливо ощущается абонентами, находящимися в труднодоступных и удаленных регионах России. Обширность обслуживаемых территорий с большой абонентской базой и принципиальная ограниченность частотно-энергетического ресурса (далее — радиоресурса) спутников-ретрансляторов (СР) обуславливают особую актуальность задачи динамического перераспределения радиоресурса СР между активными и пассивными направлениями связи. Основным фактором, осложняющим решение этой задачи, являются высокие задержки распространения сигналов в спутниковых радиолиниях и, соответственно, запаздывание в управлении [1, 2]. Поэтому традиционно при распределении радиоресурса операторы связи ориентируются на пиковую нагрузку для каждого радионаправления (рис. 1, *а*) с тем, чтобы обеспечить требуемое качество обслуживания даже в часы наибольшей нагрузки. В работе предлагается альтернативный подход к распределению ресурса, в основе которого лежит оперативный маневр свободными ресурсами между более и менее загруженными радионаправлениями

Достижимый в результате статистического уплотнения [3] эффект экономии пропускной способности  $\Delta C$  (рис. 1, *б*) по сути составляет выигрыш в пропускной способности СР.

Для компенсации запаздывания в управлении текущий ресурс, закрепляемый за конкретной земной станцией (ЗС), выделяется с некоторым запасом (резервом), который способен на некоторое время обеспечить требуемое качество обслуживания при внезапном повышении интенсивности нагрузки. Очевидно, величина этого резерва определяется запаздыванием управления и динамикой изменения интенсивности нагрузки: чем выше эти показатели, тем больше должен быть запас. И, соответственно, чем выше резерв, тем меньше ожидаемый выигрыш в пропускной способности за счет оперативного резервирования. Собственно, обоснование рациональной величины резервируемого радиоресурса для каждого направления связи и составляет предмет исследования в данной работе.

В дальнейшем в работе под радиоресурсом СР понимается некоторое число стандартных цифровых каналов, либо некоторое число частотно-временных слотов, подобных ресурсным единицам в стандарте LTE [4], которые

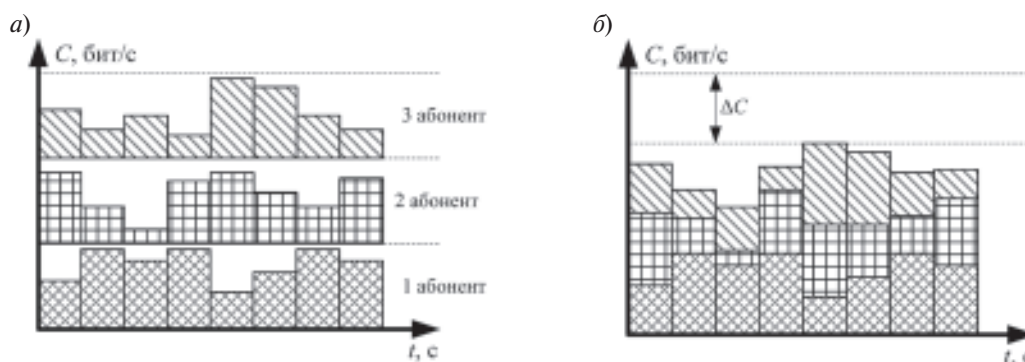


Рис. 1. Вариант «жесткого» (а) и «гибкого» (б) распределения радиоресурса

распределяются между множеством ЗС неким диспетчером (протоколом МД или ЦС) [4].

Дополнительным аргументом в пользу применения динамического перераспределения радиоресурса в спутниковой связи, несмотря на высокие задержки в управлении, является неоднородная и, как следствие, нестационарная с долговременной зависимостью структура трафика, формируемого новыми и вновь появляющимися мультимедийными службами [5, 6].

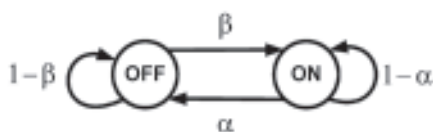


Рис. 2. Граф модели прерываемого пуассоновского процесса

Однако учет такой долговременной зависимости, так называемого эффекта «самоподобия» трафика, не позволяет воспользоваться классическим математическим аппаратом теории телетрафика на основе формул А. Эрланга при обосновании рационального резерва для радионаправлений и требует использования более сложных моделей для «самоподобного» трафика, например, на основе модулированных марковских процессов [7, 8]. Частным случаем модулированных марковских процессов является прерываемый пуассоновский процесс (ППП),

который хорошо подходит для моделирования отдельного телефонного источника в режиме подавления пауз. Граф модели прерываемого пуассоновского процесса представлен на рис. 2.

Состояние «OFF» марковской цепи на рис. 2, например, соответствует паузе в процессе телефонного разговора, а состояние «ON» соответствует периоду активности. В течение периода активности предполагается, что источник генерирует пуассоновский поток сообщений (пакетов, переносящих фрагменты оцифрованной речи) с некоторой интенсивностью  $\lambda$ .

Модель процесса обслуживания одного абонента в логическом канале с подавлением передачи в паузах при ограниченной емкости буфера  $R = N-1$  в виде двумерной цепи Маркова представлена на рис. 3.

Состояния марковской цепи на рис. 3 характеризуются парой чисел  $(i, j)$ , где переменная  $i$  отражает состояние источника:  $i = 0$  соответствует состоянию «OFF» (абонент молчит),  $i = 1$  соответствует состоянию «ON» (абонент говорит); переменная  $j = \overline{0, N}$  отражает число речевых пакетов, одновременно находящихся в канале обслуживания и в буфере.

Процесс динамического резервирования радиоресурса рассмотрим на примере одного радионаправления. Радиоресурс выделяется ЗС в зависимости от текущей активности абонента, но с некоторым запасом (резервом) для компенсации

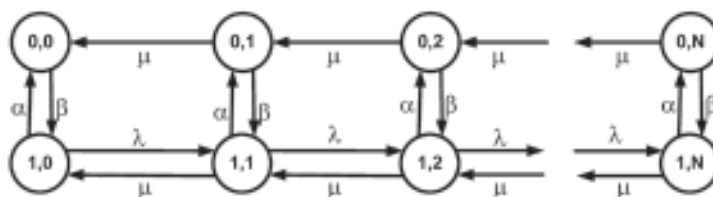


Рис. 3. Двумерная цепь Маркова с прерываемым источником

задержки в управлении. Управление заключается в подключении дополнительного канала (ресурса) при возрастании активности абонента и возникновении угрозы снижения качества связи ниже нормы (например, возрастания задержки, переполнения буфера и т. п.). Учитывая высокий процент (>60 %) пауз в процессе телефонного разговора [1, 5, 8] и использование пакетной формы

передачи речи в режиме подавления пауз, следует ожидать, что удастся существенно сократить величину выделяемого ЗС ресурса и, соответственно, повысить емкость радиосети в целом. Дополнительно следует учесть некоторую смысловую избыточность речи, которая допускает до 1–5 % потерь от общего числа речевых пакетов без снижения качества диалога [1, 5, 8].

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Антонян А.Б.** Пакетная коммутация для передачи речи // Вестник связи. 1999. № 5. С. 68–71.
2. **Bae J.J., Suda T.** Survey of Traffic Control Schemes and Protocols in ATM Networks // Proc. IEEE. 1991. Vol. 79. N 2. P. 170–186.
3. **Chandra K.** Statistical Multiplexing // The Wiley Encyclopedia of Telecommunications. — John Wiley & Sons Publication, 2002. Vol. 5. P. 2420–2432.
4. **Cox C.** An Introduction to LTE: LTE, LTE-Advanced, SAE and 4G Mobile Communications. — John Wiley & Sons Ltd, 2012. — 337 p.
5. **Коган А.В.** IP-телефония: оценка качества речи // Технологии и средства связи. 2001. № 1. С. 78–84.
6. **Петров В.В.** Структура телетрафика и алгоритм обеспечения качества обслуживания при влиянии эффекта самоподобия: дис. ... канд. техн. наук / МЭИ (ТУ). — М., 2004. — 199 с.
7. **Michiel H., Laevens K.** Teletraffic Engineering in a Broad-Band Era // Proc. IEEE. 1997. Vol. 85. N 12. P. 2007–2033.
8. **Шелухин О.И., Лукьянцев Н.Ф.** Цифровая обработка речи. — М.: Радио и связь, 2000. — 256 с.



*М.А. Коцыняк*

профессор, Военная академия связи имени Маршала Советского Союза С.М. Будённого

*И.А. Кулешов*

кандидат военных наук, ПАО «Интелтех»

*О.С. Лаута*

Военная академия связи имени Маршала Советского Союза С.М. Будённого

## **ВЕРОЯТНОСТНО-ВРЕМЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОМПЬЮТЕРНОЙ АТАКИ ТИПА «ПРОНИКНОВЕНИЕ В СПЕЦИАЛЬНЫЕ БАЗЫ ДАННЫХ И РАЗМЕЩЕНИЕ ЛОЖНОЙ ИНФОРМАЦИИ»**

Преодоление систем защиты с целью получения несанкционированного доступа к базам данных инфотелекоммуникационной сети (ИТКС), содержащим защищаемую информацию, одна из задач компьютерной разведки.

С целью осуществления несанкционированного доступа к информации злоумышленник реализует компьютерную атаку типа «Проникновение в специальные базы данных и размещение ложной информации».

Компьютерная атака (КА) обладает вероятностно-временными характеристиками (ВВХ), определение которых позволяет оценить степень ее опасности, выбрать и реализовать меры защиты.

Для исследования и определения ВВХ КА необходима разработка ее модели. Одним из подходов к решению этой задачи является разработка модели (профильной, математической) компьютерной атаки.

*Профильная модель компьютерной атаки типа «Проникновение в специальные базы данных и размещение ложной информации».*

Злоумышленник осуществляет КА в следующей последовательности:

запуск программно-аппаратного комплекса (сетевой сканера) за среднее время  $\bar{t}_{\text{зап}}$  с функцией распределения времени  $W(t)$ ;

сканирование ИТКС с целью определения количества имеющихся ПЭВМ (серверов) с вероятностью  $P_n$ , на которых расположены специ-

альные базы данных за среднее время  $\bar{t}_{\text{скан}}$  с функцией распределения времени  $M(t)$ ;

взлом паролей на атакуемых ПЭВМ (серверах) за среднее время  $\bar{t}_{\text{взлом}}$  с функцией распределения времени  $D(t)$ ;

проникновение в базы данных, копирование необходимой информации и/или размещение ложной информации за среднее время  $\bar{t}_{\text{коп}}$  с функцией распределения времени  $L(t)$ ;

маскирование «следов» доступа к базам данных за среднее время  $\bar{t}_{\text{маскир}}$  с функцией распределения времени  $Q(t)$ .

Если сетевой сканер не определил ПЭВМ (сервер), то с вероятностью  $(1 - P_n)$  сетевой сканер запускается повторно за среднее время  $\bar{t}_{\text{повт}}$  с функцией распределения  $Z(t)$ .

*Математическая модель КА типа «Проникновение в специальные базы данных и размещение ложной информации».* Описанный выше процесс реализации КА представим в виде стохастической сети (рис. 1)

Используя уравнение Мейсона, преобразование Лапласа, разложение Хевисайда и метод топологического преобразования стохастических сетей [1], функцию распределения вероятности времени реализации КА можно определить следующим образом

$$F(t) = \sum_{k=1}^6 \frac{w_m P_n d l q(z + s_k) (1 - \exp[s_k t])}{\varphi'(s_k) - s_k}, \quad (1)$$

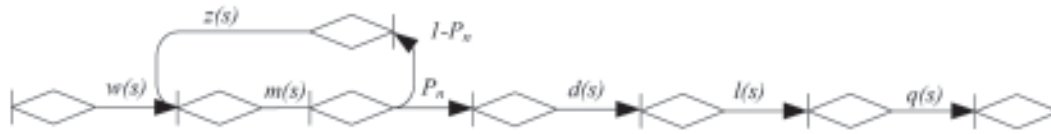


Рис. 1. Стохастическая сеть компьютерной атаки типа «Проникновение в специальные базы данных и размещение ложной информации»

а среднее время  $\bar{T}$ , затрачиваемое на реализацию компьютерной атаки

$$\bar{T} = \sum_{k=1}^6 \frac{wmP_n dlq(z + s_k)}{\varphi'(s_k)} \frac{1}{(-s_k)^2}, \quad (2)$$

где

$$w(s) = \int_0^{\infty} \exp(-st) d[W(t)] = \frac{w}{w + s} —$$

преобразование Лапласа функции распределения времени запуска сетевого сканера;

$$m(s) = \int_0^{\infty} \exp(-st) d[M(t)] = \frac{m}{m + s} —$$

преобразование Лапласа функции распределения времени сканирования ИТКС;

$$d(s) = \int_0^{\infty} \exp(-st) d[L(t)] = \frac{d}{d + s} —$$

преобразование Лапласа функции распределения времени взлома паролей;

$$l(s) = \int_0^{\infty} \exp(-st) d[D(t)] = \frac{l}{l + s} —$$

преобразование Лапласа функции распределения времени копирования информации;

$$q(s) = \int_0^{\infty} \exp(-st) d[Q(t)] = \frac{q}{q + s} —$$

преобразование Лапласа функции распределения времени «маскирования» следов доступа;

$$z(s) = \int_0^{\infty} \exp(-st) d[Z(t)] = \frac{z}{z + s} —$$

преобразование Лапласа функции распределения времени повторного запуска сетевого сканера;

$$W(t) = 1 - \exp[-wt] —$$

функция распределения времени запуска сетевого сканера;

$$M(t) = 1 - \exp[-mt] —$$

функция распределения времени сканирования ИТКС;

$$D(t) = 1 - \exp[-dt] —$$

функция распределения времени взлома паролей;

$$L(t) = 1 - \exp[-lt] —$$

функция распределения времени копирования информации;

$$Q(t) = 1 - \exp[-qt] —$$

функция распределения времени «маскирования» следов;

$$Z(t) = 1 - \exp[-zt] —$$

функция распределения времени повторного запуска сетевого сканера;

$$w = 1/\bar{t}_{\text{зап}}, \quad m = 1/\bar{t}_{\text{скан}}, \quad l = 1/\bar{t}_{\text{взлом}}, \\ d = 1/\bar{t}_{\text{коп}}, \quad q = 1/\bar{t}_{\text{маскир}}, \quad z = 1/\bar{t}_{\text{повт}} —$$

параметры распределения;

$$\bar{t}_{\text{зап}}, \bar{t}_{\text{скан}}, \bar{t}_{\text{взлом}}, \bar{t}_{\text{коп}}, \bar{t}_{\text{маскир}}, \bar{t}_{\text{повт}} —$$

среднее время каждого процесса компьютерной атаки;

$\varphi'(s_k)$  — значение производной многочлена знаменателя в точке  $s_k$ .

Зависимости функции распределения вероятности  $F(t)$  и среднего времени  $\bar{T}$  представлены на рис. 2. В качестве исходных данных используются следующие значения времени и вероятности, соответствующие профильной модели компьютерной атаки типа «Проникновение в специальные базы данных и размещение ложной информации»

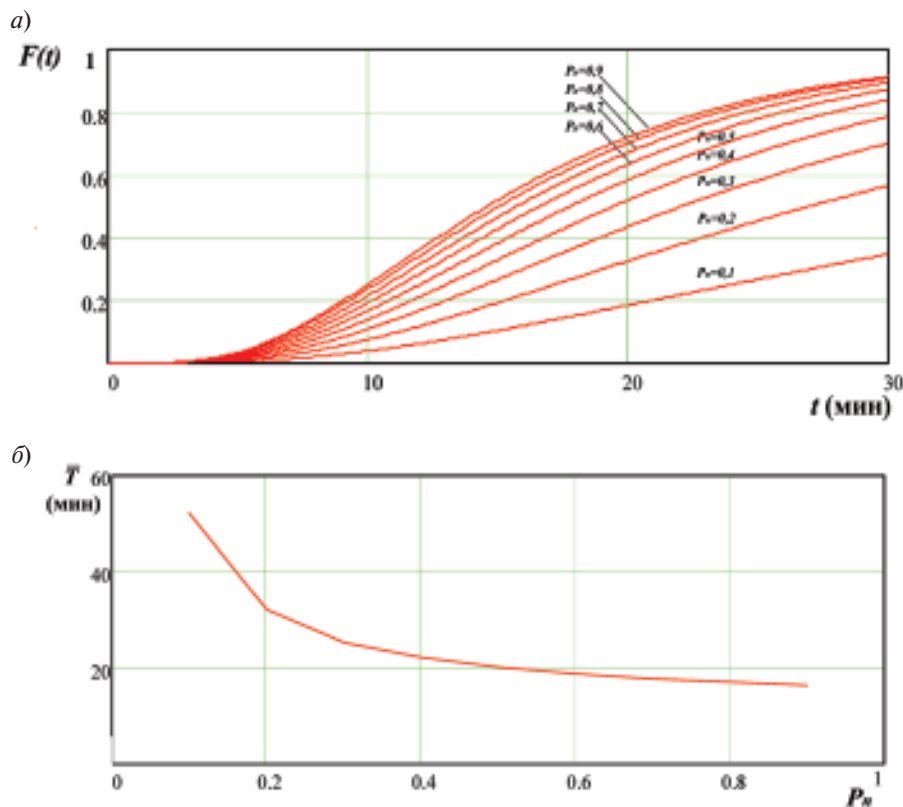


Рис. 2. Вероятностно-временные характеристики компьютерной атаки типа «Проникновение в специальные базы данных и размещение ложной информации»: *a* — зависимость интегральной функции распределения вероятностей от времени реализации компьютерной атаки; *b* — зависимость среднего времени реализации компьютерной атаки от вероятности определения компьютеров (серверов)

$$\bar{t}_{\text{зап}} = 2 \text{ мин}, \quad \bar{t}_{\text{скан}} = 2 \text{ мин}, \quad t_{\text{взлом}} = 8 \text{ мин},$$

$$\bar{t}_{\text{коп}} = 1 \text{ мин}, \quad \bar{t}_{\text{макскир}} = 2 \text{ мин}, \quad \bar{t}_{\text{повт}} = 3 \text{ мин},$$

$$P_n = 0,1 \dots 0,9.$$

Анализ полученных результатов позволяет сделать выводы:

среднее время компьютерной атаки типа «Проникновение в специальные базы данных и размещение ложной информации» с вероятностью  $P_n = 0,1$  требуется 50 мин. и 17 мин. при  $P_n = 0,9$ ;

полученные зависимости позволяют оценить влияние вероятности определения количества

сервером (ПЭВМ) на показатель эффективности реализации компьютерной атаки. Видно, что увеличение вероятности  $P_n$  повышает эффективность компьютерной атаки. Однако, по мере возрастания значения  $P_n$  степень влияния на интегральную функцию распределения  $F(t)$  уменьшается и при преодолении значения  $P_n > 0,4$  степень влияния пренебрежимо мала;

результаты моделирования могут быть использованы при обосновании направлений разработки системы защиты ИТКС, целью которой является предотвращение (затруднение) реализации компьютерной атаки.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Привалов А.А. Метод топологического преобразования стохастических сетей и его использование для анализа систем связи ВМФ. — СПб: ВМА, 2000 г.

*В.Ф. Лапицкий*

кандидат технических наук, доцент

*К.В. Фролов*

ПАО «Интелтех»

## **МЕТОДИКА РАСЧЕТА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ОБСТАНОВКИ НАДВОДНОГО КОРАБЛЯ С УЧЕТОМ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ КОРПУСА И МЕСТ РАЗМЕЩЕНИЯ АНТЕННО-ФИДЕРНЫХ УСТРОЙСТВ**

**АННОТАЦИЯ.** В статье разработана методика расчета электромагнитной обстановки надводного корабля (ЭМО НК) с учетом геометрических параметров корпуса и мест размещения антенно-фидерных устройств. Разработанная методика основана на решении граничной задачи в частотной области при использовании комбинации метода моментов (МоМ), метода конечных элементов (FEM), метода конечной разности во временной области (КРВО) и физической оптики (РО). Приведен пример расчета электромагнитной обстановки, создаваемой двумя передатчиками, работающими на четверть волновые штыри.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** Электромагнитная обстановка, дифракция в ближней зоне, напряженность электромагнитного поля, граничные условия, метод моментов (МоМ), метод конечных элементов (FEM), метод конечной разности во временной области (КРВО).

### **Введение**

Одним из путей решения проблемы электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств (РЭС) является прогнозирование электромагнитной обстановки (ЭМО). Процесс моделирования электромагнитной обстановки для обеспечения устойчивого совместного функционирования радиоэлектронных средств надводных кораблей направлен на: существенное сокращение временных, материальных и финансовых затрат при создании системы связи надводных кораблей.

### **Методика расчета электромагнитной обстановки**

Анализ объектовой ЭМС РЭС сводится к анализу электромагнитной обстановки, создаваемой на корабле. Для анализа ЭМО необходимо решить задачу дифракции в ближней зоне от  $N$  излучателей. Существующие методы решения задач дифракции не позволяют рассчитывать поля ближней зоны  $N$  излучателей, установ-

ленных на корабле. Электромагнитную обстановку на надводном корабле (НК) характеризуют следующие основные факторы, влияющие на работу радиоэлектронных средств:

- влияние средства связи, навигации и линий электропитания, установленных на корабле;

- влияние технических средств системы управления;

- влияние некачественного заземления оборудования и отсутствие специально спроектированных систем заземления;

- колебания в сетях питания.

Определение уровней электромагнитного поля (ЭМП) проводится с целью прогнозирования и определения состояния электромагнитной обстановки в местах размещения РЭС НК.

Область применения разрабатываемой методики:

- при проектировании системы связи НК;

- при изменении условий размещения, характеристик или режимов работы технических средств действующего НК (изменение расположения антенн, высот их установки, направлений

излучения, мощности излучения, схемы антенно-фидерного тракта, изменения геометрии корпуса и т. п.);

при сдаче НК в эксплуатацию (при внесении изменений в проект относительно его первоначального варианта, для которого осуществлялось расчетное прогнозирование).

На рис. 1 представлена структурная схема методики по определению ЭМО на НК с учетом геометрических параметров корпуса и мест размещения антенно-фидерных устройств.

Методика по определению ЭМО на НК предполагает решение следующих задач:

- разработка модели источников ЭМП;
- разработка трехмерной компьютерной модели корпуса НК;
- решение задачи дифракции в ближней зоне численными методами для расчета электромагнитного поля, создаваемого каждой антенной при подаче на ее вход максимальной мощности;
- оценка влияния корпуса корабля на направленные свойства установленных на нем антенн;
- конверсия результатов расчета ЭМП численными методами при решении задачи дифракции на сложном геометрическом объекте асимптотическими методами.

Разработанная методика расчета ЭМО НК основана на решении граничной задачи в ча-

стотной области при использовании комбинации метода моментов (МоМ), метода конечных элементов (FEM), метода конечной разности во временной области (КРВО) и физической оптики (РО). Использование данного подхода обеспечивает комбинацию численных и асимптотических алгоритмов, что оказывается весьма эффективными для расчета ЭМО на верхней палубе НК. Методика включает в себя ряд стандартных шагов:

- а) создание модели анализируемого корпуса НК, в том числе:
  - 1) создание трехмерной графической модели корпуса НК (чертежа);
  - 2) задание параметров материалов, из которых состоит корпус НК;
- б) определение электродинамических параметров структуры, включающее:
  - 1) задание граничных условий на поверхностях, формирующих корпуса НК;
  - 2) определение и калибровка портов;
  - 3) задание параметров решения;
- в) электродинамический анализ ЭМО, в том числе:
  - 1) анализ ЭМО в полосе частот;
  - 2) параметрический анализ РЭС;
  - 3) параметрическая оптимизация размещения РЭС на корпусе;

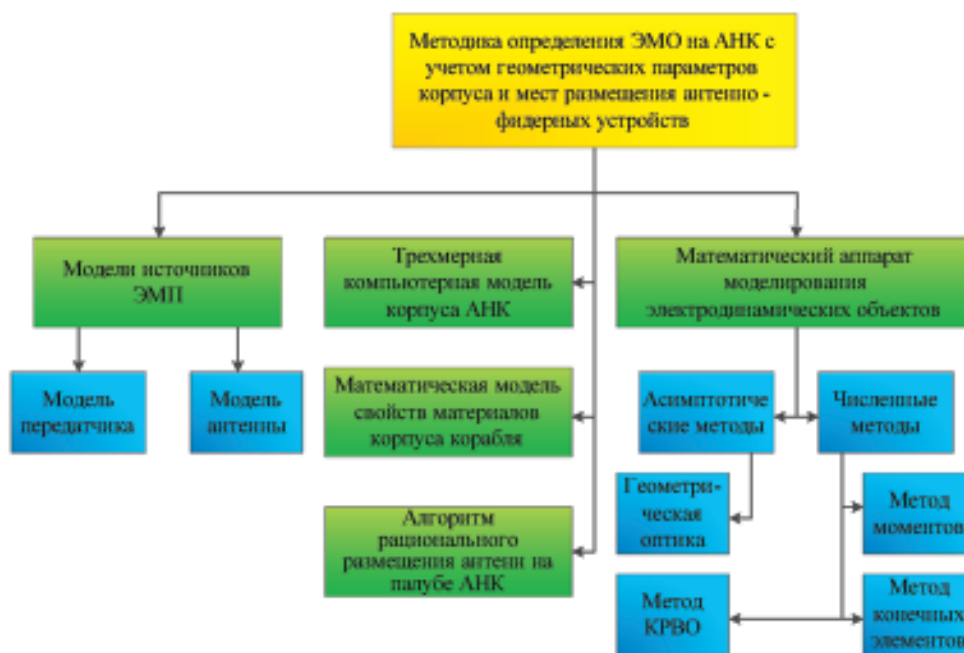


Рис. 1. Структурная схема методики определения ЭМО на НК с учетом геометрических параметров корпуса и мест размещения антенно-фидерных устройств



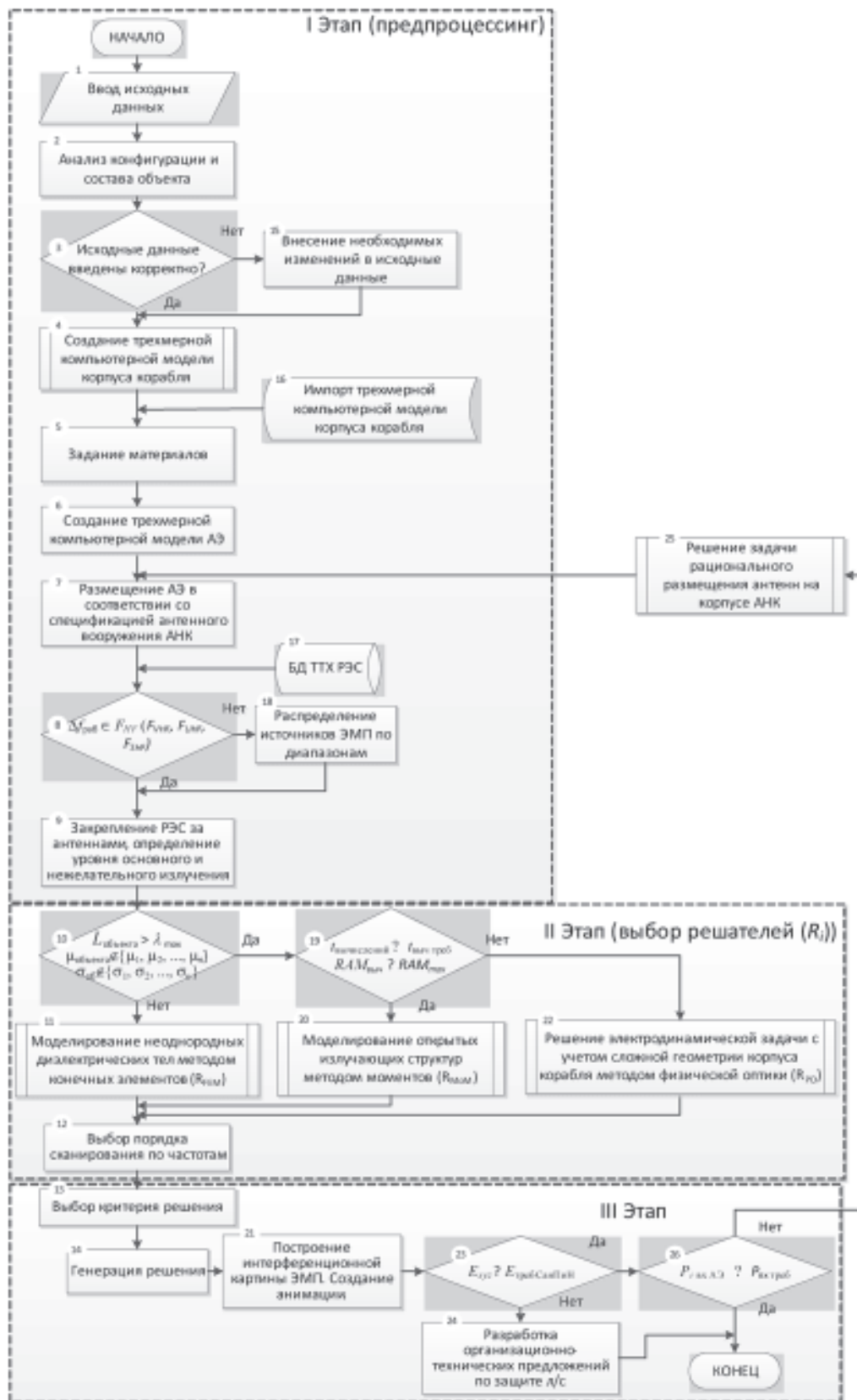


Рис. 2. Алгоритм методики расчета ЭМО НК с учетом геометрических параметров корпуса и мест размещения антенно-фидерных устройств

г) визуализация результатов электродинамического анализа ЭМО, включающая:

- 1) построение графиков в декартовых, полярных координатах, диаграмм Смита, диаграмм направленности и т. д.;
- 2) анимация распределений электромагнитного поля;
- 3) сохранение результатов анализа в файлах данных.

Алгоритм методики представлен на рис. 2.

На первом этапе (препроцессинг) осуществляется ввод исходных данных и построение трехмерной компьютерной модели (ТКМ) корпуса НК. В блоке 5 на ТКМ отображаются области с различными диэлектрическими свойствами. В блоке 6 для каждого антенного элемента (АЭ) НК создается компьютерная модель. Затем в блоке 7, в соответствии со спецификацией на НК, осуществляется размещение АЭ на корпусе корабля. Затем с учетом ТТХ РЭС из базы данных (блок 17) осуществляется распределение источников ЭМП по диапазонам частот (блок 18) и закрепление передатчиков за антеннами (блок 8). Для каждого передатчика определяется уровень основного и нежелательного излучения.

На втором этапе происходит выбор решателей ( $R_i$ ) в соответствии с поставленной задачей и имеющимся вычислительным ресурсом (блоки 10 и 19). В блоках 11, 20 и 22 различными математическими методами (МоМ, FEM и PO) решаются электродинамические задачи. Результаты решения электродинамических задач, полученные для различных частот, используются на третьем этапе (блок 21) для построения интерференционной картины ЭМП.

В блоках 23 и 26 по выбранному критерию принимается решение о состоянии ЭМО на палубе корабля и ее влиянии на РЭС и личный состав. При необходимости в блоке 24 принимается решение по разработке организационно-технических предложений по защите личного состава от негативного воздействия ЭМП, а в блоке 25 решается задача оптимального размещения АЭ на корпусе корабля.

В качестве примера по алгоритму разработанной методики был проведен расчет ЭМО, создаваемой двумя передатчиками, работающими на четверть волновые штыри. Рабочий диапазон — 600 МГц. Мощность, подводимая к первой антенне, — 800 Вт, ко второй — 200 Вт. Результаты расчета напряженности электромаг-

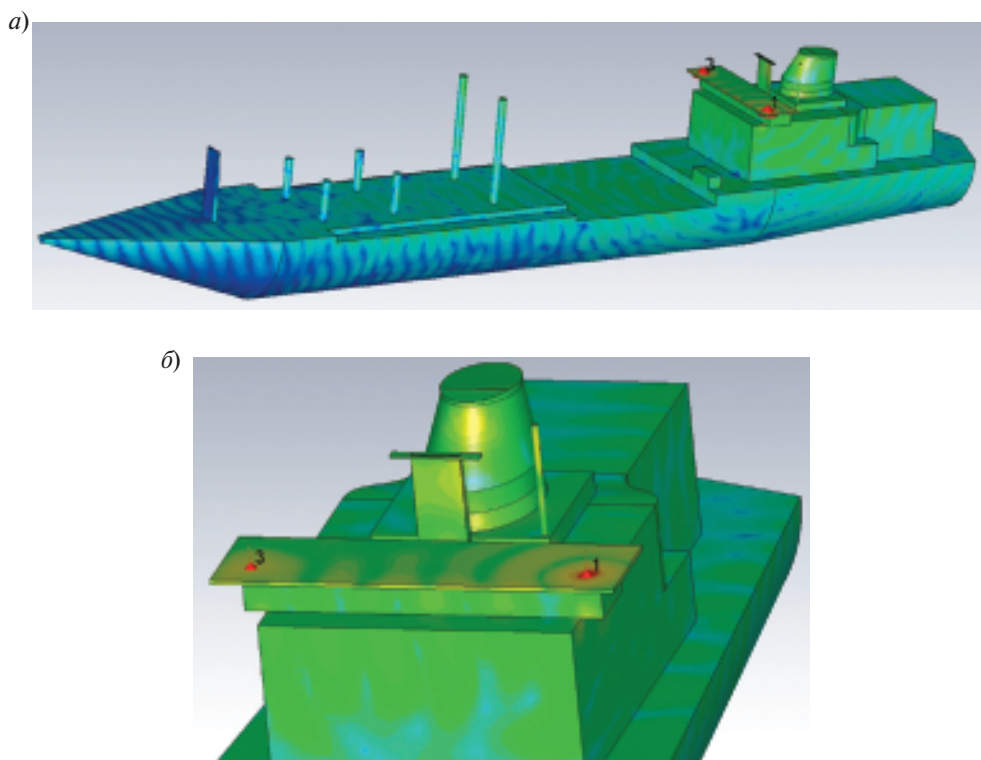


Рис. 3. Интерференционная картина напряженности ЭМП от двух источников

нитного поля, проведенного с помощью решателя конечных элементов, приведены на рис. 3.

Приведенные результаты расчетов показывают, что с помощью разработанной методики расчета ЭМО НК с учетом геометрических параметров корпуса и мест размещения антенно-фидерных устройств можно оценивать ЭМО на кораблях в целях обеспечения ЭМС РЭС.

#### **Заключение**

Для решения задачи дифракции в ближней зоне от  $N$  излучателей была разработана мето-

дика расчета электромагнитной обстановки надводного корабля и при возбуждении объектов сложной формы излучателем (антенной). В разработанной методике использованы численные методы: метод конечных элементов, метод моментов и метод конечных разностей во временной области. Для оценки влияния сложной геометрии корпуса корабля предлагается использовать метод физической оптики.

Разработанная методика может использоваться для оценки ЭМС РЭС на этапе проектирования и изготовления НК.

*В.Ф. Лапицкий*

кандидат технических наук, доцент

*К.В. Фролов*

ПАО «Интелтех»

## **МЕТОДИКА РАСЧЕТА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ОБСТАНОВКИ ПРИ ПЕРЕМЕЩЕНИИ АВИАЦИОННЫХ СРЕДСТВ НА ВЕРХНЕЙ ПАЛУБЕ АВИАНЕСУЩЕГО КОРАБЛЯ**

**АННОТАЦИЯ.** В статье разработана методика расчета электромагнитной обстановки при перемещении авиационных средств на верхней палубе авианесущего корабля (ЭМО АК). Разработанная методика основана на использовании метода конечной разности во временной области (КРВО) при решении электродинамической задачи. Приведен пример расчета электромагнитной обстановки при движении авиационных средств над верхней палубой авианесущего корабля.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА.** Электромагнитная обстановка, дифракция в ближней зоне, напряженность электромагнитного поля, граничные условия, метод конечной разности во временной области, авиационные средства.

### **Введение**

Среди кораблей задача контроля ЭМО наиболее актуальна для авианесущих кораблей ВМФ с групповым размещением авиационных средств (АС) на ограниченных площадях верхней палубы. Актуальность этой задачи возрастает с увеличением сложности авиационных средств морского базирования и насыщенности их многофункциональными широкополосными радиотехническими системами различного назначения, в том числе радиолокационного и связного профилей. Высокие интегральные уровни создаваемых ЭМП при функционировании АС приводят к негативным последствиям на качество функционирования РЭС АК, а также на бортовое радиоэлектронное оборудование, ракетное вооружение летательных аппаратов корабельного базирования. С учетом возрастающих возможных рисков в отношении ЭМС РЭС при эксплуатации АС необходимо непрерывное их сопровождение с позиций «электромагнитного проектирования».

Методика расчета электромагнитной обстановки при перемещении авиационных средств

Особое место среди физических полей авианесущих кораблей занимают первичные ЭМП,

создаваемые авиационными источниками излучения электромагнитной энергии, и их производные, образующие вследствие переизлучения источники искрообразования и непосредственно влияющие на качество обеспечения электромагнитной совместимости корабельных радиоэлектронных средств и электромагнитную безопасность (ЭМБ) в отношении биологических объектов и технических средств. Данная методика позволяет проводить расчет уровней ЭМП для произвольных расстояний от антенн, включая ближнюю зону, с учетом перекрытия главного лепестка ДН авиационными средствами АК.

В методике были решены следующие задачи: разработана математическая модель взлета (посадки) вертолета с палубы корабля;

разработан алгоритм решения задачи дифракции в ближней зоне антенны с учетом влияния корпуса авиационных средств;

разработан алгоритм решения задачи расчета ДН антенны в дальней зоне.

Методика решения задач дифракции в ближней зоне антенны методом КРВО состоит из следующих основных этапов:

— выбор размеров расчетной области;

- выбор системы координат;
- дискретизация расчетной области;
- проверка доступной оперативной памяти ЭВМ;
- расчет приращения по времени согласно условию Куранта–Фридрихса–Леви;
- ввод начальных и граничных (ПГУ) условий;
- модель возбуждения;
- создание массивов проекций векторов ЭМП;
- аппроксимация объекта и антенны;
- ввод времени наблюдения за исследуемым объектом;
- цикл по времени:
  - 1)  $n + 0,5$ , вычисление проекций  $H$ -поля;
  - 2)  $n + 1$ , вычисление проекций  $E$ -поля.
- анализ полученных результатов.

Для апробации решения задач дифракции в ближней зоне излучателя рассмотрим решение задачи излучения несимметричного вибратора (антенна К-661,  $l = 6,5$  м,  $f_{\text{раб}} = 9$  МГц), расположенного на корпусе АК (рис. 1) методом КРВО, при перемещении АС.

Выберем область вычислений  $V$  с геометрическими размерами  $6\lambda \times 6\lambda \times 6\lambda$ , что определяется имеющимися вычислительными ресурсами. Расчет произведем в декартовой системе координат. Время, необходимое для завершения переходного процесса, выбирается экспериментально. Для первой итерации задается произвольное время наблюдения, анализируется вычисленное методом КРВО ЭМП. При наличии переходного процесса, производятся следующие итерации, для которых увеличивается время наблюдения с произвольным приращением, до момента установления стационарного процесса ЭМП.

Методом КРВО вычисляются значения магнитных составляющих ЭМВ ( $H_x, H_y, H_z$ ) на временном отсчете  $n = n + 0.5$  во всей расчетной области. Далее методом КРВО вычисляются значения электрических составляющих ЭМВ ( $E_x, E_y, E_z$ ) во всей расчетной области на временном шаге  $n = n + 1$ , с использованием обновленных значений  $H_x, H_y, H_z$ . Процесс вычислений повторяется и заканчивается при условии, если  $n = N$ . На каждом временном шаге  $n$  вычисляется  $U_A^n$ . Результаты расчета представлены на рисунках 2 (а, б, в).

На рис. 3 представлены мгновенные значения  $E_z$  составляющей в точке А, в зависимости от пространственного шага дискретизации расчетной области  $V$ .

При выборе шага дискретизации помимо порядка точности нужно учитывать еще и имеющийся объем оперативной памяти ЭВМ, и объем вычислений (время расчета). Иными словами, обеспечение необходимой точности требует сравнительно большой оперативной памяти ЭВМ и времени расчета для решения задач возбуждения трехмерных объектов.

Анализируя результаты решения задач дифракции на палубе АК методом КРВО, можно сделать вывод, что форма авиационного средства и место расположения антенны непосредственно влияют на распределение ЭМП в ближней зоне. Как видно из анализа рис. 4.2, наличие вертолета в ближней зоне антенны сказывается на изменении ЭМО (и как следствие на диаграмме направленности), что необходимо учитывать при организации связи.

Алгоритм разработанной методики приведен на рис. 4.

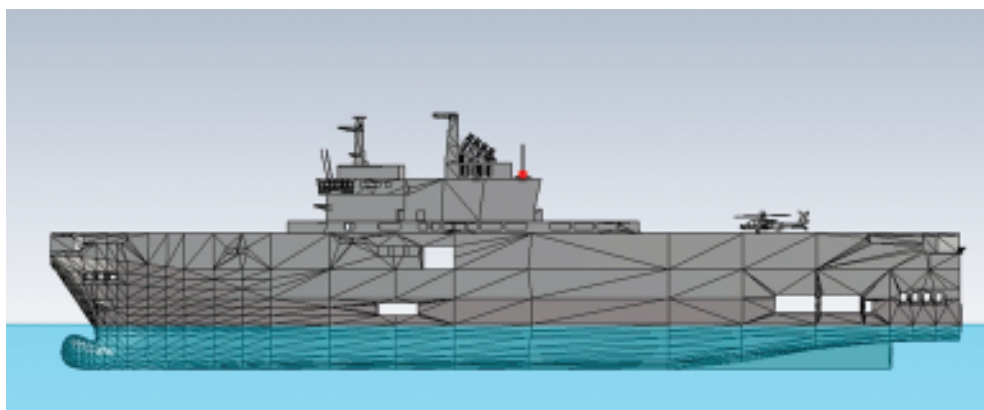


Рис. 1. Постановка задачи для расчета ЭМО АС



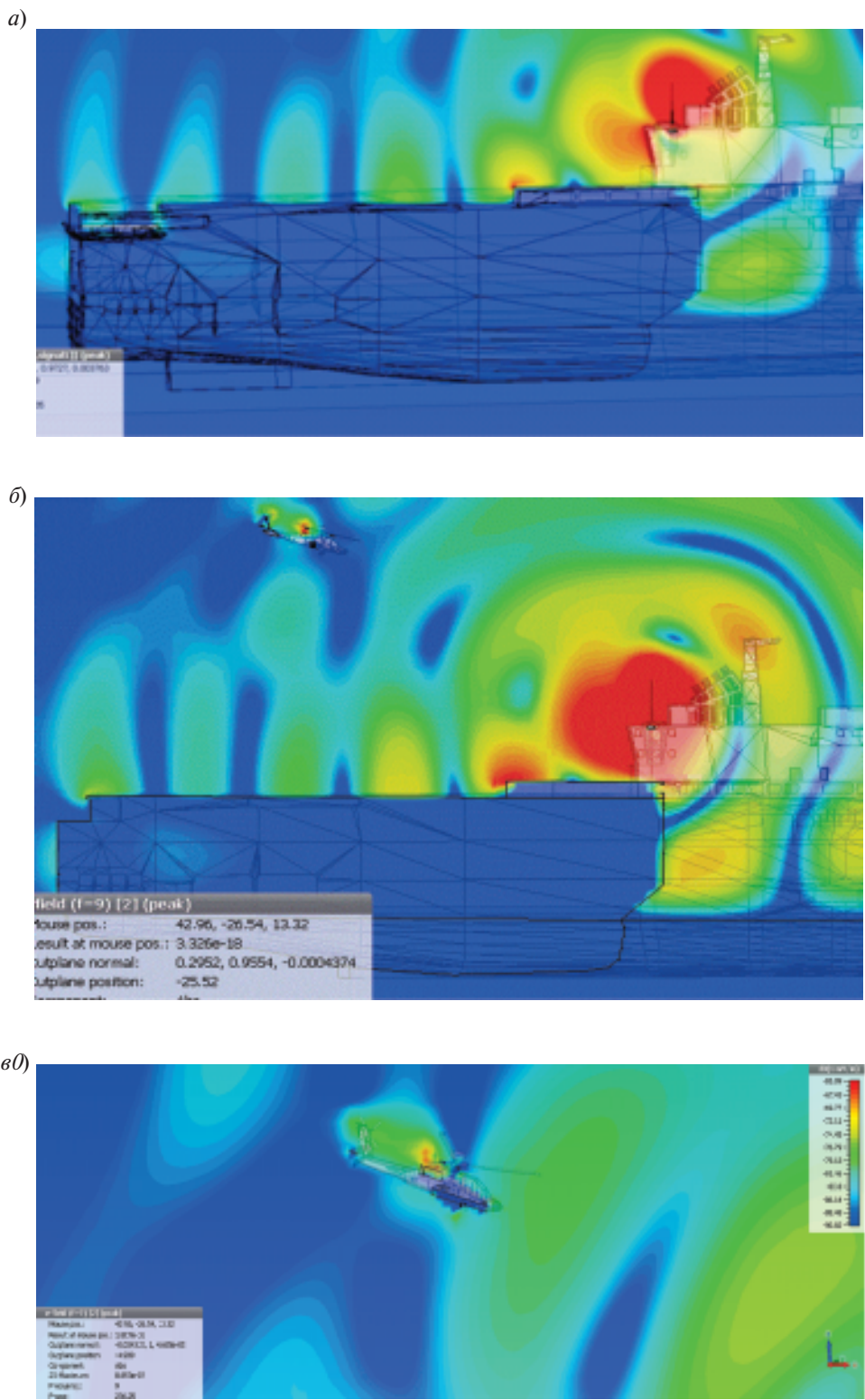


Рис. 2. Электромагнитная обстановка на верхней палубе корабля при посадке вертолета (распределение  $E_z$  составляющей): *a* — ЭМП на палубе корабля без вертолета; *б* — электромагнитное поле при нахождении вертолета; *в* — магнитное поле вблизи вертолета

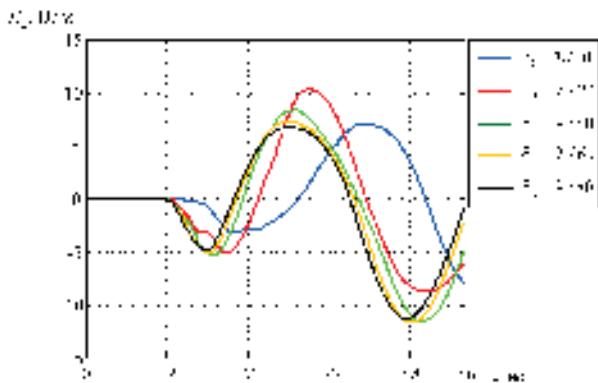


Рис. 3. Мгновенное распределение  $E_z$  составляющей в точке  $A$

В качестве примера функционирования разработанной методики проведено решение электродинамической задачи для вертолета, взлетающего с палубы АК.

Геометрия задачи показана на рис. 5.

На вертолет падает плоская волна по направлению оси  $X$ . Вектор  $E$  параллелен оси  $Z$ . Мощность, подводимая к антенне, 1 Вт. На рис. 6 изображена картина поля, полученная в процессе вычислений (а — ЭМП в отсутствие вертолета над палубой корабля, б — изменения ЭМП в дальней зоне при пролете вертолета над палубой АНК).

Как показывает анализ рис. 6, на дальностях более 200 м фазовый фронт волны нивелирует возмущения ЭМП от пролета вертолета в ближней зоне. Это объясняется соизмеримостью размеров вертолета (15 м) и длиной волны (33.4 м). В более высоком диапазоне негативное воздействие будет более выраженным.

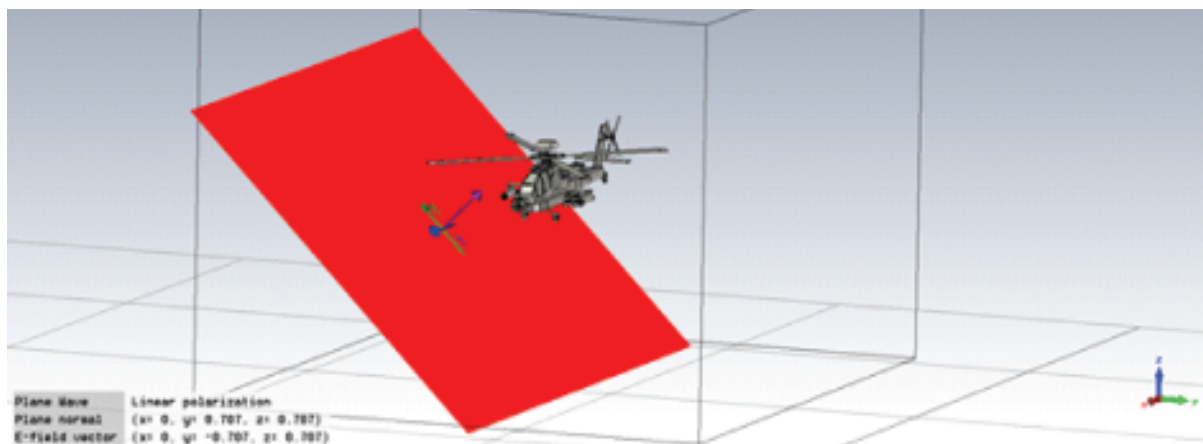


Рис. 5. Геометрия электродинамической задачи

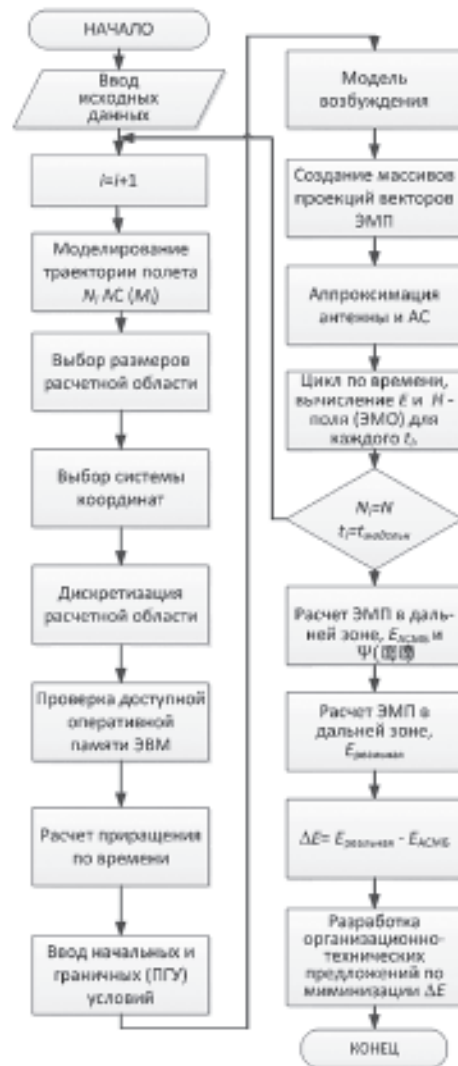


Рис. 4. Алгоритм расчета ЭМО при перемещении авиационных средств морского базирования (АСМБ)

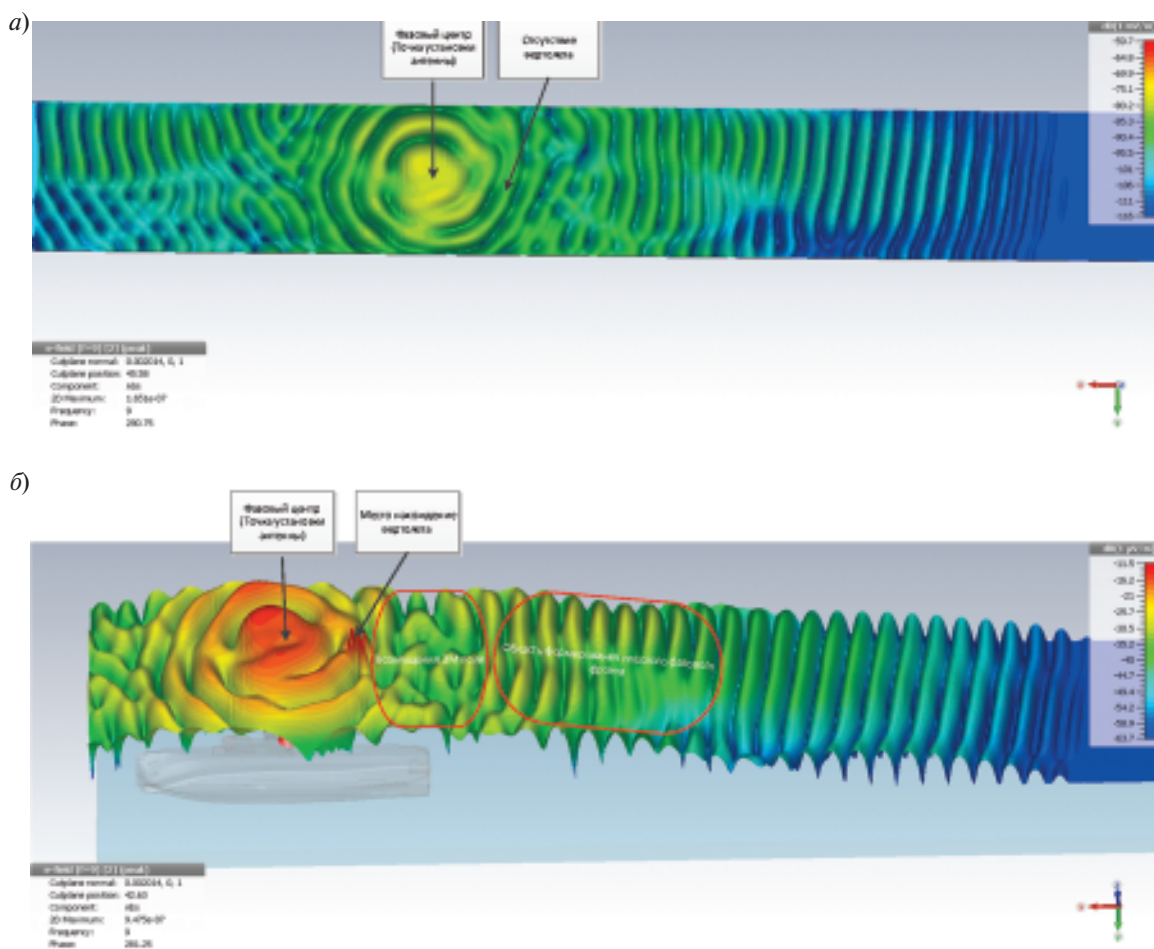


Рис. 6. Расчет изменения ЭМП в дальней зоне при пролете вертолета над палубой АК (в ближней зоне): *а* — ЭМП в отсутствие вертолета над палубой корабля; *б* — изменения ЭМП в дальней зоне при пролете вертолета над палубой АНК

**Заключение**

В результате разработки методики решена задача дифракции возбуждения движущихся объектов сложной формы (вертолеты).

Комбинированным методом «метод КРВО — преобразование ближнего поля с использованием интеграла Кирхгофа» вычислена напряженность ЭМП от системы антенн АК в дальней зоне при перемещении объектов сложной формы (вертолетов) над верхней палубой.

Результаты решения задачи дифракции в ближней зоне объектов сложной формы (АСМБ) позволят спрогнозировать траектории глиссады взлетающих (садящихся) вертолетов

для минимизации изменения реальных характеристик антенн с учетом влияния окружающих металлических конструкций.

Анализ результатов моделирования показал, что в различных участках частотного диапазона дифракционная картина ЭМП существенно зависит от размеров, формы объекта и окружающих местных предметов (геометрическая форма вертолета, навесное оборудование и т. п.). На низких частотах слабее выражена неравномерность диаграммы направленности. Результаты моделирования целесообразно учитывать при боевом применении АС, размещаемых на АК, для обеспечения требуемой дальности и надежности связи.

*К.Е. Легков*

кандидат технических наук, Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского

## **К ВОПРОСУ ОРГАНИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ ИНФОКОММУНИКАЦИОННОЙ СИСТЕМОЙ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

**АННОТАЦИЯ.** Рассматриваются вопросы организации процессов управления инфокоммуникационной системой специального назначения (ИКС СН), обеспечивающих поддержание на требуемом уровне показателей качества обслуживания спецпользователей и направленных на непосредственное изменение параметров, определяющих качественные показатели функционирования ИКС СН процессов управления эффективностью.

Целью является формирование моделей и процедур управления эффективностью ИКС СН, которая достигается путем рассмотрения ИКС СН как объекта управления, представления ее в виде многоуровневой модели, каждый из уровней которой предоставляет соответствующие услуги, характерные для данного уровня. При этом выделяют инфраструктурный уровень, промежуточный уровень, базовый уровень и предоставляемые ими услуги, каждый из которых целесообразно представить в виде сетевой модели, а управление целесообразно осуществлять на каждом уровне ИКС СН по пяти основным задачам сетевого управления, к которым относятся задачи управления производительностью сети уровня, безопасностью, структурой и адресацией, ресурсами сети уровня и сбийными ситуациями

В статье показано, что для выполнения задач, возлагаемых на ИКС СН, особенно в условиях силового и информационного противоборства, требуется чтобы она предоставляла обоснованный ранжированный перечень гарантированных услуг связи соответствующих служб: телефония, передача данных (ПД), электронная почта (ЭП), файловый обмен (ФО), видеоконференцсвязь (ВКС) и т. д. требуемого качества, для чего необходимо решить многокритериальную оптимизационную задачу.

Сделан вывод о том, что многоуровневое управление ИКС СН в сложных условиях невозможно без гибкого оперативного распределения предоставляемых спецпользователям услуг в реальном масштабе времени. При этом обеспечение гибкости, масштабируемости и возможности наращивания номенклатуры требуемых услуг при управлении ИКС СН невозможно без рациональной организации процедур управления комплексом предлагаемых услуг.

На основе выбора качественных показателей и критериев эффективности функционирования ИКС СН предлагаются постановки задач управления, обеспечивающих функционирование ИКС СН с требуемыми показателями качества обслуживания, и выявление необходимых условий для построения основных механизмов решения частных задач управления, совокупность которых гарантирует формирование механизмов решения основной задачи — управление эффективностью ИКС СН.

Введенное понятие состояние управления ИКС СН, позволившее достаточно строго рассмотреть варианты достижения целей, поставленных перед ИКС СН, и связать их с процедурами управления, а также сформулировать ряд оптимизационных задач для создания процедур оптимального управления эффективностью ее функционирования.

Основными результатами являются полученные механизмы и процедуры управления эффективностью ИКС СН, которые могут служить базой для создания конкретных алгоритмов управления и соответствующего специального программного обеспечения комплексов средств автоматизации АСУ ИКС СН.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** инфокоммуникационная система, качество обслуживания, службы, управление, услуги, эффективность.

### **Инфокоммуникационные сети специального назначения как объект управления**

Телекоммуникационные и инфокоммуникационные сети специального назначения в соответствии с Законом РФ «О связи» предназначены для предоставления требуемых услуг связи пользователям структур для нужд обороны, безопасности государства и поддержания правопорядка — спецпользователям.

Функционирование инфокоммуникационных сетей специального назначения (ИКС СН) осуществляется в сложных условиях, когда возможны различные структурные и информационные воздействия, носящие в значительной степени прудумьшленный характер [1–4], предполагает гибкое оперативное изменение их структуры и организацию управления ими в реальном масштабе времени. При этом необходимые гибкость, масштабируемость и возможность



наращивать номенклатуру требуемых услуг обеспечивают построение ИКС СН в соответствии с концепцией глобальной информационной инфраструктуры (ГИИ) [5, 6] и широкое применение современных информационных, телекоммуникационных технологий и технологий управления рис. 1.

Несмотря на сложность обеспечения функционирования ИКС СН в сложных (подчас конфликтных) условиях [2–4], требуется, чтобы она была способна передать требуемый объем информации с гарантированным качеством от одних индивидуальных или корпоративных спецпользователей к другим спецпользователям во время интенсивных структурных и информационных воздействий на программно-аппаратные комплексы и оборудование как самой ИКС СН, так на автоматизированную систему управления ею (АСУ ИКС СН), что предопределяют разработку специальных подходов к организации управления ИКС СН.

В настоящее время известно значительное число способов организации управления сетями и услугами [7], которые не всегда применимы и эффективны при управлении ИКС СН в силу ее сложности и мультисервисности. Поэтому, и с учетом того, что архитектура современных ИКС СН содержит три основных уровня (рис. 1),

управление ею также целесообразно организовать по трем уровням управления: управление инфраструктурным уровнем, управление промежуточным уровнем, управление базовым уровнем ИКС СН, на каждом из которых процессы управления осуществляются по пяти основным задачам, к которым относятся задачи управления производительностью уровня, безопасностью, структурой и адресацией, ресурсами уровня и сбойными ситуациями.

При этом каждый уровень архитектуры ИКС СН целесообразно представить сетевыми моделями:

— инфраструктурный уровень целесообразно представить совокупностью сетей услуг (каждая сеть представляет собой множество узлов услуг или серверов услуг, связанных виртуальными каналами с определенной пропускной способностью), при этом спектр услуг, которые предлагаются в рамках этого уровня ИКС СН, достаточно широк и может динамически меняться вместе с изменением доступных ресурсов и условий функционирования;

— промежуточный уровень целесообразно представить совокупностью сетей услуг middle-ware, каждая из которых представляет собой множество соответствующих серверов (сервера безопасности, аутентификации и т. д.), связан-



Рис. 1. Многоуровневая архитектура современных ИКС СН



ных виртуальными каналами с определенной пропускной способностью, при этом компоненты услуг уровня используются, прежде всего, для обеспечения межсетевого взаимодействия и совместного функционирования нескольких приложений средств управления и спецпользователей, позволяя объединять компоненты услуг базового уровня и поддерживать инфраструктуру, которая необходима для предоставления всего набора услуг;

— базовый уровень достаточно просто представляется сетевой моделью, т. к. фактически представлен совокупностью транспортной сети, сетей доступа и сетей традиционной связи (телефонная сеть, сеть передачи данных и т. д.).

При представлении каждого уровня сетевой моделью, управление на каждом уровне ИКС СН целесообразно осуществлять по пяти основным задачам сетевого управления, к которым относятся задачи управления производительностью сети уровня, безопасностью, структурой и адресацией, ресурсами сети уровня и сбойными ситуациями, рис. 2.

Из всех процессов управления, каждый из которых в той или иной степени влияет на эффективность ИКС СН, непосредственно влияют на параметры, отражающие ее качественные характеристики, только процессы управления производительностью каждого из трех уровней, т. е. управление эффективностью ИКС СН пред-

ставляет собой композицию процессов управления производительностью инфраструктурного, middleware и базового уровней.

### Процедуры управления эффективностью ИКС СН

Функционирование ИКС СН с определенными качественными показателями, при которых ее основные цели выполняются, характеризуются определенным состоянием управления  $\bar{S}$  [10], при этом все состояния управления, которые могут встречаться в процессе управления ИКС СН, можно подразделить на два подмножества — управляемых, при которых заданная цель ИКС СН  $C_{ICN}$  всегда достигается, и неуправляемых, когда эта цель  $C_{ICN}$  не достигается.

Обозначим  $\{\bar{S}\}$  множество всех возможных состояний управления  $\bar{S}$ , встречающихся в процессе управления ИКС СН. Пусть  $\{\bar{S}_r\}$  — подмножество множества состояний управления  $\{\bar{S}\}$ , где ИКС СН неуправляема, т. е. не все цели из  $C = \{C_{ICN}\}$  достигаются, а  $\{\bar{S}_s\}$  — подмножество состояний управления, где ИКС СН управляема, т. е. все цели из  $C = \{C_{ICN}\}$  достигаются.

Очевидно, что

$$\{\bar{S}_s\} \cup \{\bar{S}_r\} = \{\bar{S}\}. \quad (1)$$



Рис. 2. Архитектура задач управления ИКС СН

Каждому элементу множества  $\{\bar{S}\}$  целесообразно поставить в соответствие число, не превышающее 1 из множества  $P\{\bar{S}\}$ , которое определяет вероятность появления этого состояния  $\bar{S}$ . В силу чрезвычайной сложности ИКС СН число элементов множества  $\{\bar{S}\}$  настолько велико, что под  $P\{\bar{S}\}$  допустимо понимать плотность вероятности, т. е.:

$$\int_{\bar{S}} P\{\bar{S}\} d\bar{S} = 1. \tag{2}$$

Соотношение (2) определяет, что вне области  $\{\bar{S}\}$  не могут встретиться реальные состояния управления ИКС СН  $\bar{S}$ .

Для выполнения целей при управлении эффективностью ИКС СН необходимо соответствующим образом (с помощью управления) изменить состояние управления  $S_c = F(U_c Z_c)$ , которое зависит от управления  $U_c$  и совокупности внешних воздействий на ИКС СН  $Z_c$ . При выборе определенного управления  $U_{c\text{ fics}}$  получается вполне конкретное качество обслуживания спецпользователей, т. е. вполне определенное значение качественных показателей функционирования ИКС СН  $Q(\dots)$ , а это приводит к некоторой экстремальной задаче:

$$Q(Z_c, S_c) \rightarrow \max_{U_{c\text{ fics}} \in \Xi}, \tag{3}$$

Решение этой экстремальной задачи — некоторое управление  $U_{c\text{ fics}}^*$ , являющееся оптимальным управлением эффективностью ИКС СН. В этом решении использована модель ИКС СН и учтен ресурс, выделяемый на управление  $\Xi$ .

Многоуровневое управление ИКС СН в сложных условиях невозможно без гибкого оперативного распределения предоставляемых спецпользователям услуг в реальном масштабе времени. При этом обеспечение гибкости, масштабируемости и возможности наращивания номенклатуры требуемых услуг при управлении ИКС СН невозможно без рациональной организации процедур управления комплексом предлагаемых услуг.

Для выполнения конкретной задачи в различных сложных условиях ПУ АСУ требуется определенное соотношение предоставляемых гарантированных услуг связи, которое обе-

спечивает тот или иной уровень эффективности функционирования ИКС СН, определяемых в плоскости предоставляемых услуг, в конечном счете, значениями показателей качественного функционирования соответствующих служб ИКС СН (IP-телефония, ПД, ЭП, ФО, ВКС и пр.), т. е. соответственно  $Q_{IPT\Phi}, Q_{PD}, Q_{EM}, Q_{FT}, Q_{VKS}$  :

$$Q^{O(i)} = f^{O(i)}(Q_{IPT\Phi}, Q_{PD}, Q_{EM}, Q_{FT}, Q_{VKS}), \tag{4}$$

где  $O(i)$  —  $i$ -я задача.

Таким образом, необходимо решить многокритериальную задачу по такой организации управления услугами ИКС СН (совокупности предоставляемых услуг спецпользователям — ДЛ и прикладным процессам ПУ АСУ), которая обеспечит экстремум показателю эффективности функционирования ИКС СН при проведении  $O(i)$  задачи, т. е.:

$$\begin{aligned} \text{extr } Q_{РИКС}^{O(i)} = \\ = \text{extr} \left[ f^{O(i)}(Q_{IPT\Phi}, Q_{PD}, Q_{EM}, Q_{FT}, Q_{VKS}) \right]. \end{aligned} \tag{5}$$

В принципе, эта задача может быть решена методами многокритериальной оптимизации по Парето (решением задачи оптимизации является множество Парето).

Каждая служба ИКС СН при проведении  $O(i)$  задачи должна обеспечить соответствующим объектам АСУ определенный уровень услуг связи, который требует соответствующей организации этой службы. В условиях функционирования служб при конфликте их параметры, в общем случае, являются случайными величинами, а случайное время предоставления соответствующей услуги, может быть получено при рассмотрении основных схем информационного взаимодействия и будет равно сумме случайного числа случайных значений времен проведения технических операций по получению и предоставлению конкретному пользователю (ДЛ или прикладному процессу ПУ АСУ) соответствующей услуги связи:

$$T_{Servis}^{O(i)} = \sum_{j=1}^{N_{O(i)}} t_{tex\ oper}^{(j)}, \tag{6}$$

где  $t_{tex\ oper}^{(j)}$  —  $j$ -я техническая операция по получению и предоставлению соответствующей услуги связи.

Для приведенных основных служб ИКС СН могут быть получены соответствующие выражения:

$$T_{IPT\Phi}^{O(i)} = \sum_{j=1}^{N^{IPT\Phi}_{O(i)}} t_{tex\ oIPT\Phi}^{(j)} \cdot \quad (7)$$

$$T_{PD}^{O(i)} = \sum_{j=1}^{N^{PD}_{O(i)}} t_{tex\ oPD}^{(j)} \cdot \quad (8)$$

$$T_{EM}^{O(i)} = \sum_{j=1}^{N^{EM}_{O(i)}} t_{tex\ oEM}^{(j)} \cdot \quad (9)$$

$$T_{FT}^{O(i)} = \sum_{j=1}^{N^{FT}_{O(i)}} t_{tex\ oFT}^{(j)} \cdot \quad (10)$$

$$T_{VKS}^{O(i)} = \sum_{j=1}^{N^{VKS}_{O(i)}} t_{tex\ oVKS}^{(j)} \cdot \quad (11)$$

Вместе с тем, учет случайного числа технических операций по предоставлению соответствующей услуги связи ИКС СН достаточно сложно организовать, поэтому, учитывая, что для большинства используемых служб при организации обслуживания дисперсия случайного числа технических операций невелика, то целесообразно использовать величину среднего значения числа операций  $\bar{N}_{O(i)}$ , т. е.

$$T_{IPT\Phi}^{O(i)} = \sum_{j=1}^{\bar{N}^{IPT\Phi}_{O(i)}} t_{tex\ oIPT\Phi}^{(j)} \cdot \quad (12)$$

$$T_{PD}^{O(i)} = \sum_{j=1}^{\bar{N}^{PD}_{O(i)}} t_{tex\ oPD}^{(j)} \cdot \quad (13)$$

$$T_{EM}^{O(i)} = \sum_{j=1}^{\bar{N}^{EM}_{O(i)}} t_{tex\ oEM}^{(j)} \cdot \quad (14)$$

$$T_{FT}^{O(i)} = \sum_{j=1}^{\bar{N}^{FT}_{O(i)}} t_{tex\ oFT}^{(j)} \cdot \quad (15)$$

$$T_{VKS}^{O(i)} = \sum_{j=1}^{\bar{N}^{VKS}_{O(i)}} t_{tex\ oVKS}^{(j)} \cdot \quad (16)$$

Как правило, для каждой технической операции длительностью  $t_{tex\ oIPT\Phi}^{(j)}$ ,  $t_{tex\ oPD}^{(j)}$ ,  $t_{tex\ oEM}^{(j)}$ ,  $t_{tex\ oFT}^{(j)}$ ,  $t_{tex\ oVKS}^{(j)}$  может быть задана функция распределения случайного времени ее прове-

дения  $F(t_{tex\ oIPT\Phi}^{(j)} \leq T_{tex\ oIPT\Phi}^{(j)})$ ,  $F(t_{tex\ oPD}^{(j)} \leq T_{tex\ oPD}^{(j)})$ ,  $F(t_{tex\ oEM}^{(j)} \leq T_{tex\ oEM}^{(j)})$ ,  $F(t_{tex\ oFT}^{(j)} \leq T_{tex\ oFT}^{(j)})$ ,  $F(t_{tex\ oVKS}^{(j)} \leq T_{tex\ oVKS}^{(j)})$ , при этом применяя преобразование Лапласа-Стилтьеса (ПЛС) [12] к выражениям (12)–(16), можно получить вид функций распределения случайных времен  $T_{IPT\Phi}^{O(i)}$ ,  $T_{PD}^{O(i)}$ ,  $T_{EM}^{O(i)}$ ,  $T_{FT}^{O(i)}$ ,  $T_{VKS}^{O(i)}$  либо непосредственно, либо на основе четырехмоментной аппроксимации с последующим применением семейства распределений Пирсона.

Выбор критериев эффективности стратегий управления ИКС СН не может быть формализован и базируется на результатах обоснования основных показателей эффективности ее функционирования. Так если выбраны такие свойства ИКС СН как  $P\{t \leq t_{дон}\}$  (вероятность своевременной предоставления соответствующей услуги и  $T_{д}^*$  (среднее время предоставления услуги), то в качестве критериев оптимальности выработанного плана управления услугами, нужно выбирать такие, которые бы производили учет этих параметров при формировании плана управления, а процедура управления услугами в ИКС СН позволяла формировать план управления по максимальному значению оценки величины  $P_{cd}^* = P\{t \leq t_{дон}\}$  или минимальному значению величины  $t_{д}^* \leq t_{дон}^*$ . Естественно, что тогда в качестве показателя эффективности плана управления выбирается  $P_{cd}^*$  или  $t_{д}^*$ , а правило выбора плана управления будет состоять в выборе исходящего направления в соответствии с критерием максимального  $P_{cd}^*$  или минимального  $t_{д}^* \leq t_{дон}^*$  значения информации агрегированной по конкретному показателю эффективности ИКС СН, представленной в виде матриц  $\mathbf{P}^*(t) = |P_{cdij}^*(t)|$  или  $\mathbf{T}_{д}^* = |t_{dij}^*|$ .

При выборе критерия оптимальности плана управления необходимо учитывать и степень сложности получения численного значения соответствующего показателя. Так получение достоверной (состоятельной) оценки вероятности своевременного предоставления услуги для всей ИКС СН представляет собой задачу достаточной сложности, практическое выполнение которой потребует значительных временных и вычислительных затрат и, самое главное, не позволяет использовать эти значения при организации

оперативного управления эффективностью ИКС СН. Это же справедливо и для такого показателя эффективности как вероятность отказа в предоставлении услуги, вероятность отказа в обслуживании полного требования и т. д.

В этом плане выбор показателя  $t_{\theta}^*$  более предпочтителен и для каждого фрагмента ИКС СН с однотипными технологиями формируются частные планы управления  $\gamma_{dij} \Big|_0^{T_u} \in \Gamma \Big|_0^{T_u}$ , в качестве критериев оптимальности которых, выбираются либо  $\mathbf{T}_{D\min}^* = \left| \min(t_{dij}^*) \right|$ , либо  $\mathbf{T}_{D\min}^* = \left| \min(t_{уст\ ij}^*) \right|$ . При этом возможны два варианта применения этих критериев при построении плана управления эффективностью.

Первый вариант представляет собой непосредственное построение планов управления в ИКС СН по выбранному показателю  $\mathbf{T}_D^*$ . Он предусматривает уточнение текущих оценок показателей  $\mathbf{T}_D^* = \left| t_{dij}^* \right|$  или  $\mathbf{T}_D^* = \left| t_{уст\ ij}^* \right|$  при обслуживании каждого спецпользователя после успешно обслуженного требования. Вместе с тем данный вариант в явном виде не учитывает структурные изменения в ИКС СН в результате воздействий. Поэтому для оперативной реакции на них при управлении эффективностью ИКС СН необходимо вводить соответствующие механизмы управления, которые блокируют на время восстановления вычисление оценок средних значений величин  $t_{dkq}^*$  или  $t_{уст\ kq}^*$ .

Второй вариант связан с получением аналитических выражений для средних времен обслуживания. Действительно среднее время обслуживания зависит от среднего времени задержки его на каждом узле услуг ИКС СН, среднего времени его непосредственного обслуживания, от длины трассы обслуживания, измеренной в числе обслуживаемых участков и времени передачи требования на трассе обслуживания.

Время обслуживания будет величиной случайной. Пусть известны вероятности соответствующих состояний узлов обслуживания ИКС СН  $P_{io}(t_c), \dots, P_{ir}(t_c), \dots, P_{in}(t_c), \dots, P_{i, n+s}(t_c)$ . В соответствии с этим задержка обслуживания возникает только тогда, когда вновь поступившее требование застанет все каналы обслуживания соответствующего узла услуг ИКС СН занятыми. Тогда среднее время задержки и обработки обслуживания на узле услуг ИКС СН составит:

$$\bar{t}_3 = \sum_{j=n}^{n+s-1} t_3(r=j)P_{ij} + \sum_{j=n}^{n+s-1} \frac{(j-n+1)Q}{nV_{эф}} P_{ij} \quad (17)$$

Полученные аналитические выражения для средних времен обслуживания выделяют те параметры плана управления эффективностью ИКС СН, которые влияют на качество обслуживания. Так, чем меньше в трассе обслуживаемых узлов услуг, тем при прочих равных условиях меньше среднее время обслуживания. То есть, выделен один из параметров, непосредственно влияющий на механизм управления — это число обслуживаемых узлов услуг в трассе обслуживания. Среднее время обслуживания зависит также от времени задержки обслуживания на каждом узле услуг — это второй параметр. Пропускная способность каналов и трактов — третий параметр, определяющий формирование плана управления.

Таким образом, исходя из определенного существенного свойства ИКС СН — среднего времени обслуживания спецпользователей, возможно выделить параметры (показатели), по которым необходимо осуществлять оптимизацию плана управления эффективностью и строить исходя из этого стратегию и процедуры управления методами многокритериальной оптимизации либо по Парето, либо скаляризацией и получением одного интегрального показателя.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Легков, К.Е.** О некоторых подходах к повышению эффективности системы управления в рамках изменения подхода к автоматизации и информации / К.Е. Легков // Мобильные телекоммуникации (Mobile Communications). — 2013. — № 7. — С. 48.

2. **Легков, К.Е.** Основные теоретические и прикладные проблемы технической основы системы управления специального назначения и основные направления

создания инфокоммуникационной системы специального назначения / К.Е. Легков // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. — 2013. — Т. 7, № 6. — С. 42–46.

3. **Легков, К.Е.** Процедуры и временные характеристики оперативного управления трафиком в транспортной сети специального назначения пакетной коммутации / К.Е. Легков // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. — 2012. — Т. 6, № 6. — С. 22–26.

4. **Легков, К.Е.** Вероятность потери пакета в беспроводных сетях со случайным множественным доступом к среде передачи / К.Е. Легков, А.А. Донченко // Т-Сomm: Телекоммуникации и транспорт. — 2011. — Т. 5, № 5. — С. 32–33.

5. **Легков, К.Е.** Современные технологии беспроводного широкополосного доступа 802.16Е и LTE: перспективы внедрения на транспорте / К.Е. Легков, А.А. Донченко, В.В. Садовов // Т-Сomm: Телекомму-

никации и транспорт. — 2010. — Т. 4, № 2. — С. 30–32.

6. **Легков, К.Е.** Беспроводные MESH сети специального назначения / К.Е. Легков, А.А. Донченко // Т-Сomm: Телекоммуникации и транспорт. — 2009. — Т. 3, № 3. — С. 36–37.

7. **Легков, К.Е.** Анализ систем передачи в сетях беспроводного доступа / К.Е. Легков, А.А. Донченко // Т-Сomm: Телекоммуникации и транспорт. — 2009. — Т. 3, № 2. — С. 40–41.



*К.Е. Легков*

кандидат технических наук, Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского

## **ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К ПЕРСПЕКТИВНЫМ АВТОМАТИЗИРОВАННЫМ СИСТЕМАМ УПРАВЛЕНИЯ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

**АННОТАЦИЯ.** Анализ существующей проблематики применения сил специального назначения (СН) свидетельствует о том, что информационно-управленческие аспекты выходят на первый план. Функциональная интеграция всех существующих и перспективных подсистем в интересах повышения эффективности применения сил специального назначения возможна только на основе решения задач научно-методического и организационно-технического совершенствования системы управления силами и средствами СН и информационного обеспечения системы принятия решения командиров.

Анализируя возможные подсистемы единого информационного пространства (ЕИП), можно сделать вывод о том, что главные сложности при образовании ЕИП будут заключаться в организации взаимодействия информационных ресурсов при интеграции систем управления в единую автоматизированную систему управления (АСУ) специального назначения (СН), изготовление которой проходит через следующие этапы:

устранения несовместимости видовых систем связи и АСУ;

скоординированности, устранения информационных барьеров;

полной совместимости;

единой когерентности АСУ СН и связи.

Очевидно, что создаваемая система должна иметь открытую архитектуру и обеспечивать возможность оперативной адаптации к изменениям состава и структуры сил СН в целом и отдельных группировок, в частности, в том числе и оперативно формируемых на отдельных направлениях.

Основными факторами, определяющими направления развития системы управления силами СН будут являться:

изменение структуры сил СН, связанное с включением в их состав других частей и подразделений боевого обеспечения и принятием на вооружение новых образцов вооружения и специальных средств;

изменение перечня задач, решаемых формированиями сил СН в целях оптимизации распределения задач СН;

создание и внедрение в системы специального вооружения формирований сил СН прорывных информационных технологий, телекоммуникационных и робототехнических систем, систем искусственного интеллекта, а также оружия на новых физических принципах;

необходимость принятия специальных мер по обеспечению живучести системы управления силами в условиях ориентации потенциальных противников на первоочередную дезорганизацию систем военного и государственного управления с использованием средств информационного противоборства, нетрадиционных форм и способов специальных действий, дальнего огневого и электронного поражения с возможным массированным применением высокоточного оружия по объектам систем управления;

необходимость полной автоматизации процессов управления силами и средствами сил СН при выполнении ими задач самостоятельно, а также в совместных операциях, обусловленная особенностями современных и перспективных средств нападения потенциальных противников.

Управление силами СН во всех звеньях должно быть устойчивым, непрерывным, оперативным и скрытным, обеспечивать постоянную боевую и мобилизационную готовность штабов и войск, эффективное использование возмож-

ностей сил и успешное выполнение ими поставленных задач в установленные сроки и в любых условиях обстановки.

Для управления силами заблаговременно создается система управления сил СН, а также проводятся мероприятия по поддержанию ее боевой готовности. При этом осуществляется подготовка органов управления, оборудуются и содержатся в постоянной готовности стационарные пункты управления, на которых организуется непрерывное боевое дежурство, подготавливаются к своевременному развертыванию подвижные пункты управления, создается и совершенствуется техническая основа системы управления и обеспечивается их живучесть.

Эффективность управления силами и средствами полностью будет определяться возможностями системы управления по реализации каждого цикла управления с заданными параметрами.

Система управления сил СН представляет собой совокупность функционально взаимосвязанных между собой органов управления, пунктов управления и технической основы системы управления.

Состав и задачи, решаемые системой управления сил СН во многом будут определяться этапным развитием структуры и состава сил СН. При этом необходимо заметить, что в текущий момент на развитие и совершенствование системы управления сил СН оказывает влияние процесс обеспечения единства автоматизированного управления в государственном масштабе.

К системе управления сил СН предъявляются требования общего и частного характера. Требования общего характера касаются системы управления в целом. Они имеют одинаковое отношение ко всем структурным элементам системы управления, а также к формам организации управленческой деятельности. Частные требования касаются лишь отдельных элементов системы управления, форм и методов их функционирования. Частные требования вытекают из общих и носят соподчиненный характер.

К общим основополагающим требованиям, предъявляемым к системе управления сил СН, относятся: высокая боевая готовность, защищенность и живучесть, качественная реализация цикла управления войсками, возможность автоматизированного централизованного управления.

К частным требованиям, предъявляемым к системе управления сил СН, относятся: гло-

бальность, мобильность, надежность, помехоустойчивость, разведзащищенность, адаптивность, реконфигурируемость и безопасность.

В настоящее время система управления сил СН должна быть развернута в объеме, обеспечивающем выполнение функций по управлению силами и средствами в повседневной деятельности и при выполнении специальных задач дежурным составом сил и средств.

Наряду с требованиями общего и частного характера на практике также рассматриваются системные требования, предъявляемые к системе управления сил СН:

- способность функционировать в составе системы управления более высокого иерархического уровня;

- способность удовлетворять требованиям в отношении целостности, целеобусловленности, работоспособности, делимости, интегративности, комплексности, адекватности и экономической эффективности своих подсистем;

- возможность функционирования своих подсистем и входящих в их состав элементов при различной степени централизации управления в любом уровне иерархии управления;

- возможность проведения комплекса мероприятий по снижению демаскирующих признаков элементов системы и повышению их помехоустойчивости;

- автоматизация процессов управления;

- обмен информацией со всеми сопрягаемыми (вышестоящими, подчиненными, соседними и взаимодействующими) системами;

- управление штатными и приданными объектами управления при выходе из строя отдельных управляющих элементов системы;

- гарантированная защита информации от несанкционированного доступа (НСД), несанкционированного использования средств связи, технического, информационного и программного обеспечения;

- информационно-лингвистическая, программная, техническая, организационная, методическая и иная совместимость всех элементов системы и сопрягаемых элементов других систем, а также синхронизацию единого времени.

Системные требования подразделяются также на требования к органам, пунктам, объектам и средствам управления системы управления.

В современных и перспективных специальных операциях невозможно осуществлять управ-

ление силами без комплексной автоматизации этого важного, сложного и объемного процесса. Подсистемы и элементы систем управления СН должны быть способны эффективно функционировать в перспективном контуре управления силами. Степень автоматизации процесса управления силами должна быть не ниже 80–90 %.

Требования к комплексам средств автоматизации (КСА) определяются их местом в иерархической структуре системы управления сил СН, ожидаемым характером проводимых специальных операций.

Основными количественными характеристиками КСА являются:

- количество направлений автоматического обмена информацией;
- длительность цикла управления;
- время реакции (работное время) КСА;

производительность КСА.

Количество предусматриваемых направлений автоматического обмена информацией должно соответствовать количеству источников и потребителей информации, к которым относятся командные пункты и элементы объекта управления, с которыми связан данный КСА. Эта величина определяется местом КСА в иерархической структуре АСУ.

Наиболее значимые ограничения на применение КСА накладывают такие показатели, как:

- большое разнообразие управляемых средств;
- высокие требования к временным показателям, точностным характеристикам;
- большие объемы обработки информации в условиях жесткого ограничения времени;
- сложность иерархической структуры АСУ.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. **Легков К.Е.** Применение сетевых информационных услуг при проведении специальных операций // Сборник трудов военно-научной конференции ВКА им.А.Ф.Можайского. — 2013. — С. 16–21.

2. **Трушин В.В.** О сущности взаимодействия войск

в операции (бою) // Военная мысль. — 2007. — № 4. — С. 16–18.

3. **Шеремет И.В.** «Сетецентрическая война»: истоки и технические аспекты // Военно-промышленный курьер. — 2006. — № 7. — С. 22–24.

*К.Е. Легков*

кандидат технических наук

*В.А. Бабошин*

кандидат технических наук, доцент

*О.Е. Нестеренко*

Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского

## **МОДЕЛИ И МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ СОВРЕМЕННЫМИ МУЛЬТИСЕРВИСНЫМИ СЕТЯМИ СВЯЗИ**

**АННОТАЦИЯ.** Рассматриваются основные подходы к организации процессов управления современными телекоммуникационными сетями, построенными на принципах сетей следующего поколения, позволяющие строить достаточно эффективные стратегии управления.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** мультисервисная сеть связи, оптимизация управления, стратегии, управление, эффективность.

Мультисервисную сеть связи, как сеть связи следующего поколения, отличают от традиционных моносервисных сетей некоторые особенности, которые следует учитывать при выборе вариантов управления ею [1–3].

Первой особенностью является невозможность полного математического описания (полноценной математической модели) как мультисервисной сети связи в целом, так и отдельных телекоммуникационных сетей в ее составе, при несомненной желательности и настоятельной необходимости в нем.

Второй особенностью является случайность функционирования мультисервисной сети связи, приводящая к трудностям при проведении анализа ее состояния и организации управления сетью. Эта черта обусловлена не только наличием многочисленных специальных источников случайных и преднамеренных помех в сети, но и сложностью сети, которая приводит к множеству всякого рода второстепенных (с точки зрения целей управления) процессов. Вследствие этого функционирование мультисервисной сети связи подчас оказывается «непредвиденным» для системы управления сетью, причем эту «непредвиденность» целесообразно рассматривать как некий случайный фактор и трактовать как зашумленность, чем проводить подробный ана-

лиз механизмов воздействия второстепенных процессов на сеть, хотя эта «случайность» может оказаться вовсе и не случайной.

Третьей особенностью является необъяснимая «нетерпимость» к управлению [4, 5]. Эта особенность является самой неприятной особенностью мультисервисной сети связи. Дело в том, что мультисервисная сеть связи функционирует относительно независимо от системы управления, т. е. сеть предназначена для передачи информации, а не для управления ею. В этом состоит определенное противоречие, которое возрастает, если цели управления не согласованы с целями самой мультисервисной сети связи.

Существенная нестационарность мультисервисной сети связи является четвертой особенностью и вытекает из ее сложности. Она проявляется в дрейфе основных характеристик, т. е. в эволюции телекоммуникационных сетей в составе мультисервисной сети связи во времени, что гарантирует так называемую невозпроизводимость экспериментов, состоящую в различной реакции сети на одну и ту же ситуацию или управление в различные моменты времени. Это обстоятельство нельзя не учитывать при управлении сетью и при построении моделей сети и управления.

Все эти обстоятельства могут привести к тому, что поставленные при проектировании системы управления (если не принять соответствующих мер) цели управления в полной мере никогда не будут достигнуты, так как для реализации управления требуется определенное время, за которое мультисервисная сеть связи изменится непредвиденным образом, в результате чего управление ею наверняка не приведет к желаемому результату.

Поэтому основным способом преодоления этого является экстраполяция функционирования мультисервисной сети связи с выявлением направления ее эволюции. Тогда управление производится с упреждением, с учетом выявленных тенденций изменения сети.

Под управлением мультисервисной сетью связи далее будем понимать процесс организации такого целенаправленного воздействия на нее, в результате которого она переходит в требуемое (целевое) состояние [6, 7].

При управлении в качестве модели мультисервисной сети связи рассматривается неориентированный регулярный граф без петель  $G(E, B)$  с множеством вершин (узлов мультисервисной сети связи)  $E$  и множеством ветвей (линий связи, пучков цифровых каналов, цифровых трактов, соединяющих узлы сети)  $B = \{b_{ij} | (i, j) \in \Omega_\varepsilon\}$ , соединяющих  $\varepsilon$  пар ( $\varepsilon \leq \frac{1}{2} C_Z^2$ ) множества  $\Omega_\varepsilon$ .

Каждой вершине  $e_i \in E$  приписывается множество обслуживающих элементов  $O_i = \{o_{ix}\}$ , каждый элемент которого характеризуется алгоритмом обслуживания  $x$ -го типа и производительностью  $\rho_{ix}$ , а каждой ветви  $b_{ij}$ , соединяющей  $i$ -ю и  $j$ -ю вершины мультисервисной сети связи, ставится в соответствие значение ее емкости, равной либо количеству цифровых каналов  $n_{ij}$  в пучке с определенной пропускной способностью, которыми располагает данная ветвь, либо ее пропускной способности  $\kappa_{ij}$ , если она представляет собой цифровой тракт. В последнем случае при применении различных протоколов с резервированием пропускной способности или гарантированным качеством предоставления сетевых услуг, цифровой тракт может быть представлен моделью пучка каналов, поэтому, не нарушая общности рассуждения, будем рассматривать ветвь мультисервисной сети связи как пучок цифровых каналов.

В общем случае емкость ветви  $n_{ij}$  сети или пропускная способность ее является переменной величиной, зависящей от управления  $U = \{u_{ij}, (i, j) \in \Omega_v\}$ , выбираемого из множества допустимых значений  $G(U)$ .

Считаем, что на мультисервисную сеть связи поступает многомерный нестационарный поток с параметром  $\Lambda(t) = \{\lambda_{ij}(t) | i, j = \overline{1, N}\}$ . Пусть время, на которое единица информации (пакет, кадр или сообщение) занимает канал (или единицу пропускной способности цифрового тракта), распределено по экспоненциальному закону с параметром  $\mu_i$ . Оценка  $\mu^*$  параметра обслуживания для всего многомерного потока получается взвешенным, пропорционально поступающей нагрузке частных потоков, суммированием и одинакова для всех потоков, не зависит от длины пути передачи информации. Величина  $\mu^*$  может существенно отличаться от возможного значения в силу влияния различных программно-аппаратных атак.

Будем считать заданным список возможных путей передачи единиц информации между каждой парой узлов сети. При этом будем учитывать возможность выхода из строя отдельных узлов и линий связи на некоторое случайное время под воздействием целого ряда факторов.

Вследствие того, что характеристики обслуживания требований на передачу единиц информации (определяются величиной  $\mu^*$ ), как правило, обладают значительно большей статистической устойчивостью по сравнению с параметрами нагрузки  $\Lambda$ , оценка  $\mu^*$  может быть выполнена с несравненно более высокой точностью. Пренебрегая погрешностью оценивания, будем считать (не нарушая общности рассуждений)  $\mu^*$  характеристикой, известной подсистеме управления сетью с достаточной степени точности.

Рассмотрим организацию управления мультисервисной сетью связи, когда можно считать поступающую на нее нагрузку близкой к стационарной на интервале времени, сравнимым с интервалом (циклом) управления сетью (т. е. потоки в сети квазистационарные и  $\Lambda(t) = \Lambda \{t \in T_u\} = \Lambda$ ). Ясно, что эта ситуация возможна на достаточно коротких временных интервалах не превышающих цикл управления. Считаем известным априорное распределение



параметров нагрузки  $P(\Lambda)$ . Считаем, что функционирование системы управления мультисервисной сетью связи начинается с момента времени  $t_0$ , характеризуемого начальной структурой и распределением каналов (трактов) на сети  $S_0$ , при условии, что к моменту  $t_0$  на сети устанавливается стационарный режим обслуживания. В момент  $t_0$  входящая нагрузка  $\Lambda$  претерпевает скачкообразное изменение, и ее новое значение подчиняется распределению  $P(\Lambda)$ .

Формализованная модель мультисервисной сети связи не полна и задана только определенными соотношениями  $\pi(\Lambda_{ij})$ , позволяющими оценивать качество обслуживания требований (сообщений, пакетов, кадров, ячеек) на ветви  $b_{ij}$ , при известном законе и параметрах поступающей на нее совокупной нагрузки  $\Lambda_{ij}$  (прямой  $\lambda_{ij}$  и транзитной  $\lambda_{ijTP}$ ), т. е.  $\Lambda_{ij} = \lambda_{ij} + \lambda_{ijTP}$  и емкости ветви  $n_{ij}$ .

Процесс управления мультисервисной сетью связи состоит из этапа планирования (получение плана действий) и этапа реализации этого плана. Объектом управления является мультисервисная сеть связи с произвольной организацией обслуживания (с ожиданием и без ожидания, однофазным и многофазным обслуживанием и т. п.). Будем рассматривать класс управлений, удовлетворяющий следующим условиям. Пусть управление содержит квазистатическую и динамическую составляющие, которым соответствует квазистатический план  $Pl_{st}(T_u)$ , неизменяемый в процессе работы сети на период неизменной ее структуры и для данного цикла управления, и динамический план  $Pl_{din}(T_u)$ , являющийся динамически изменяемым. Поступающая на мультисервисную сеть связи нагрузка в первую очередь обслуживается в соответствии с  $Pl_{st}(T_u)$ , а избыточная — в соответствии с  $Pl_{din}(T_u)$ . Например, при организации управления на фрагменте мультисервисной сети связи с коммутацией каналов (в т.ч. виртуальных) в качестве плана  $Pl_{st}(T_u)$  может рассматриваться совокупность прямых путей (пучков каналов, трактов), и обслуживание требований (в том числе и транзитных), поступивших на  $i$ -й узел мультисервисной сети связи и адресованного  $j$ -му узлу, производится в первую очередь по прямому пути, если таковой имеется между данными узлами сети. В случае отсутствия прямого пути, либо его загруженности требование обслу-

живается по обходному пути в соответствии с планом  $Pl_{din}(T_u)$ . При организации управления на фрагментах мультисервисной сети связи с коммутацией пакетов (дейтаграммный режим) или сообщений (службы связи с промежуточным хранением информации) квазистатическая часть плана  $Pl_{st}(T_u)$  отсутствует, и управление сетью будет реализовываться только в соответствии с динамической составляющей плана  $Pl_{din}(T_u)$ .

Пусть эффективность функционирования телекоммуникационной сети оценивается некоторым функционалом качества  $\Phi$ , зависящим от реализованного на сети динамического плана  $Pl_{din}(T_u)$  (квазистатический план  $Pl_{st}(T_u)$  считается заданным и неизменным на период планирования). Задачей управления мультисервисной сетью связи является выбор такого оптимального динамического плана  $Pl_{din}(T_u)$ , который обеспечит при заданных нагрузке  $\Lambda$ , структуре сети  $S$  и организации обслуживания требований  $A = \{a_x\}$

$$\text{extr}_{Pl_{din}(T_u)} \Phi = \text{extr} \Phi(\Lambda, S, A, Pl_{din}(T_u)). \quad (1)$$

Таким образом, при фиксированных  $\Lambda_f, U_f$  и  $A_f$  задачу нахождения оптимального плана  $Pl_{din}^o(T_u)$  можно сформулировать как задачу нелинейного программирования, а именно найти  $Pl_{din}^o(T_u) = \left\{ \left\| P_{ik}^{(j)} \right\| \right\}$ , доставляющий  $\text{extr}_{Pl_{din}(T_u) \in B} \Phi(\dots)$  при условии, что область  $B$  задана в виде системы равенств и неравенств:

$$\sum_k P_{ik}^j = 1, \quad i, j = \overline{1, N}, \quad (2)$$

$$\begin{aligned} P_{ik}^j &\geq 0, \quad \Lambda_{ik} = \\ &= \sum_j P_{ik}^j \Lambda_i^j \leq C_{ik}, \quad k \in \Omega(i), \quad \forall i, j = \overline{1, N}, \end{aligned} \quad (3)$$

где  $P_{ik}^j$  и  $C_{ik}$  — соответственно условная вероятность обслуживания требований и пропускная способность ветви  $b_{ik}$ .

Обычно функционал  $\Phi(Pl_{din}(T_u))$  является непрерывно дифференцируемой функцией, при зафиксированном плане  $Pl_{din}^f(T_u)$  и задает время обслуживания требований или вероятность того, что время обслуживания требований не превысит допустимую величину. Функционал качества

обслуживания  $\Phi(P_{din}(T_u))$  является выпуклым, т. к. при любой организации обслуживания в мультисервисной сети связи производная  $\frac{D\Phi}{D\Lambda_{ik}^j}$  является монотонно неубывающей функцией от  $\Lambda_{ik}^j$ .

Введем значение критической нагрузки для конкретного  $i$ -го узла мультисервисной сети связи, в качестве которой выступает поток  $\Lambda_{икр}^j$ , при котором в оптимальном режиме (при плане  $P_{din}^o(T_u)$ ) условная высота узла  $H_i^j = 1$ . По аналогии критическим потоком (нагрузкой) для всей мультисервисной сети связи является входящий поток  $\Lambda_{кр}$ , при котором в оптимальном режиме (при плане  $P_{din}^o(T_u)$ ) все высоты равны единице, т. е.  $H_i^j = 1, \forall i, j = \overline{1, N}$ .

Поэтому при заданной структуре мультисервисной сети связи  $S$ , алгоритме обслуживания  $A$

и управлении с планом  $P_{din}^o(T_u)$ , пропущенный поток на сети (а, следовательно, и пропускная способность сети) достигает максимума, а время обслуживания требований минимально при условии, что входящий поток  $\Lambda$  равен  $\Lambda_{кр}$ .

С целью предотвращения снижения пропускной способности мультисервисной сети связи при превышении нагрузок своих критических значений ( $\Lambda_i^j > \Lambda_{икр}^j$ ), управление в виде полученного оптимального плана  $P_{din}^o(T_u)$  должно ограничивать на каждом узле сети входящий поток  $\Lambda_i^j$  таким образом, чтобы обеспечивать выполнение  $H_i^j = 1$ .

Таким образом, оптимальное управление мультисервисной сетью связи должно включать наряду с подзадачей ограничения выбора исходящих направлений, также подзадачи ограничения нагрузки.

## ЛИТЕРАТУРА

1. **Легков, К.Е.** О некоторых подходах к повышению эффективности системы управления в рамках изменения подхода к автоматизации и информации / К.Е. Легков // Мобильные телекоммуникации (Mobile Communications). — 2013. — № 7. — С. 48.

2. **Легков, К.Е.** Основные теоретические и прикладные проблемы технической основы системы управления специального назначения и основные направления создания инфокоммуникационной системы специального назначения / К.Е. Легков // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. — 2013. — Т. 7, № 6. — С. 42–46.

3. **Легков, К.Е.** Процедуры и временные характеристики оперативного управления трафиком в транспортной сети специального назначения пакетной коммутации / К.Е. Легков // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. — 2012. — Т. 6, № 6. — С. 22–26.

4. **Легков, К.Е.** Вероятность потери пакета в бес-

проводных сетях со случайным множественным доступом к среде передачи / К.Е. Легков, А.А. Донченко // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. — 2011. — Т. 5, № 5. — С. 32–33.

5. **Легков, К.Е.** Современные технологии беспроводного широкополосного доступа 802.16Е и LTE: перспективы внедрения на транспорте / К.Е. Легков, А.А. Донченко, В.В. Садовов // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. — 2010. — Т. 4, № 2. — С. 30–32.

6. **Легков, К.Е.** Беспроводные MESH сети специального назначения / К.Е. Легков, А.А. Донченко // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. — 2009. — Т. 3, № 3. — С. 36–37.

7. **Легков, К.Е.** Анализ систем передачи в сетях беспроводного доступа / К.Е. Легков, А.А. Донченко // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. — 2009. — Т. 3, № 2. — С. 40–41.

*С.И. Макаренко*

кандидат технических наук, Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского

## **МЕТОДИКИ И МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ СИСТЕМЫ СВЯЗИ В УСЛОВИЯХ ДЕСТРУКТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПРОТОКОЛЫ СЕТЕВОГО И ТРАНСПОРТНОГО УРОВНЕЙ**

**АННОТАЦИЯ.** В статье изложены основные направления диссертационных исследований на соискание ученой степени доктора технических наук.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** сетевая атака, радиоэлектронное подавление, ALOHA, радиоэлектронная сетевая атака, радиоэлектронное подавление, ALOHA.

В настоящее время основой совершенствования стратегии ведения боевых действий является переход к концепции сетецентрического управления [1]. Переход к сетецентрической системе управления существенно увеличит интенсивность боевых действий и сократит циклы управления. Однако, внедряемая концепция сетецентрического управления, несмотря на несомненные достоинства, обладает существенным недостатком, дающим возможность асимметричного противодействия данному принципу управления. Нарушение функционирования информационной подсистемы в составе сетецентрической системы приведет к невозможности управления группировкой войск и отдельными подразделениями. При этом, наиболее простым, эффективным и наименее затратным способом воздействия на функционирование информационной подсистемы является применение средств радиоэлектронного подавления.

Анализ направлений развития методов радиоэлектронного подавления (РЭП) технологически развитых государств показал, что решение проблемы комплексного подавления объединенных систем связи, являющейся технической основой сетецентрического управления, будет основываться на использовании эффектов деструктивного воздействия на протоколы верхних уровней модели OSI функционирования систем связи [2]. Таким образом, новые способы, средства и цели РЭП потенциального противника применяются в комплексе с другими информа-

ционно-техническими воздействиями в рамках проведения единой информационной операции. Целями подавления являются не сети и каналы радиосвязи, а элементы информационно-телекоммуникационной системы военного управления. Ввиду отсутствия в отечественном терминологическом аппарате термина для адекватного описания такого вида воздействия, предложен термин радиоэлектронная сетевая атака (РЭСА), который семантически описывает изменение методологии РЭП противника.

Исследование воздействия на новых принципах показало, что существует принципиальная возможность существенного динамического изменения параметров каналов связи в рабочем диапазоне отношения сигнал/шум, в том числе с учетом алгоритмов адаптивного выбора параметров помехоустойчивой работы системы связи на физическом и сетевом уровнях [3]. Для радиосетей, использующих современные методы случайного множественного доступа CSMA/CA и ALOHA, такое динамическое периодическое воздействие помех на общий канал ведет к их сносу в заблокированное состояние даже после снятия помехового воздействия. Исследование эффектов динамического воздействия средств подавления на структуру информационных потоков показало, что такое воздействие может использоваться для формирования выходного потока пакетов со сложной структурой с гиперэкспоненциальными распределениями длительностей между поступлениями пакетов.

Оперативность обработки таких потоков в узлах маршрутизации ниже в 5–6 раз относительно обработки простейших потоков, причем данный эффект наблюдается на высоконагруженных коммутаторах.

Предлагается развить методологию оценки показателей системы военной связи за счет учета воздействия РЭСА и оценки устойчивости отдельных технологий и протоколов связи к такому воздействию. Для защиты путей и направ-

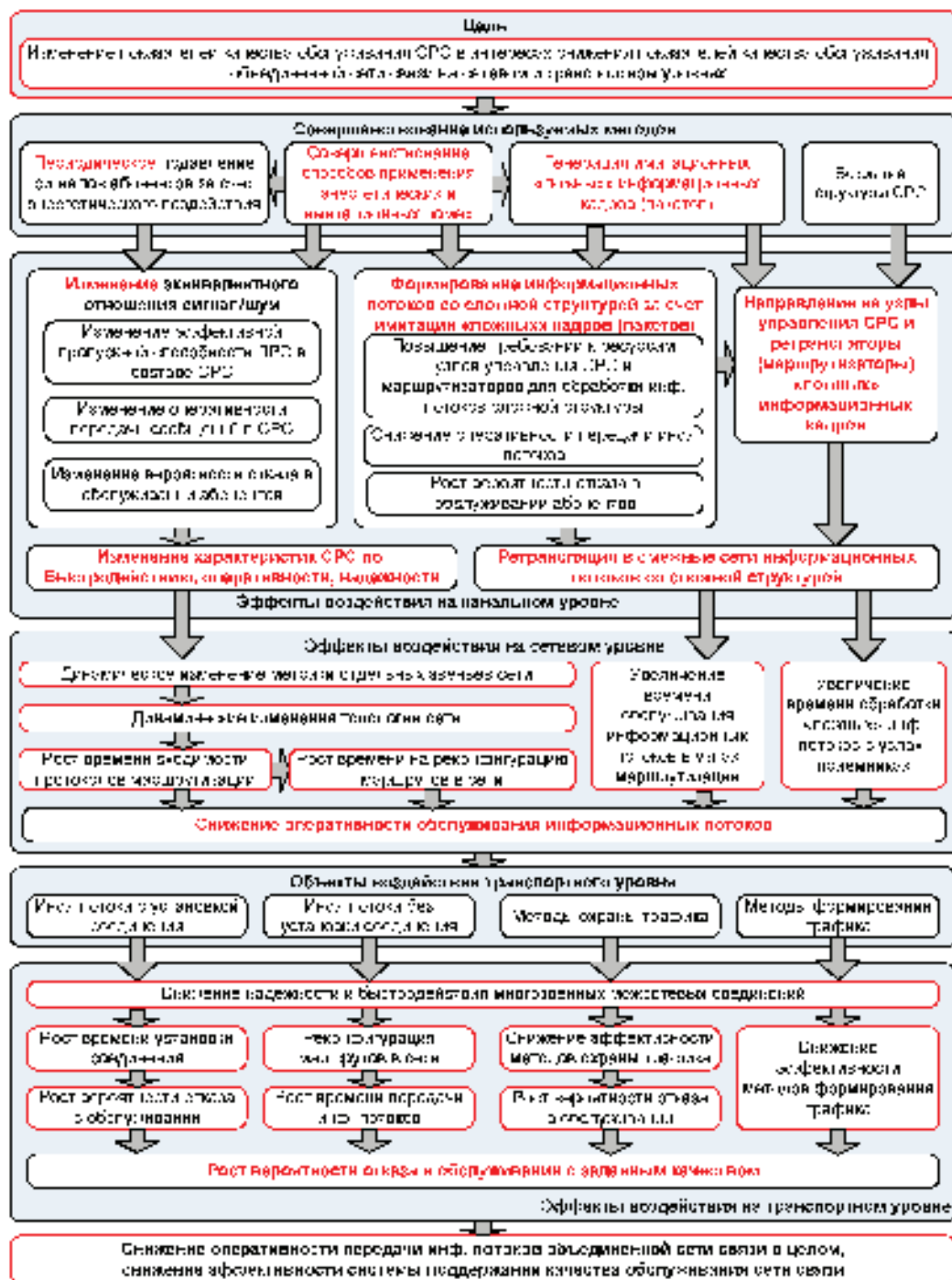


Рис. 1. Анализ эффектов воздействия деструктивных средств на уровнях транспортной подсистемы модели OSI в интересах формирования оптимального решения проблемы целевого деструктивного воздействия на объединенные сети связи

лений при решении задач маршрутизации в сетях связи от рассмотренных выше воздействий предлагается три подхода.

1. Модифицировать алгоритмы поиска кратчайших путей в составе протоколов маршрутизации таким образом, чтобы наряду с кратчайшими путями формировались наборы резервных путей к узлам сети [4–5].

2. Для учета топологических изменений и повышения устойчивости связи использовать алгоритмы декомпозиции сети на сильносвязные области с последующим формированием на их основе областей маршрутизации. При этом как внутри области, так и между ними резервирование путей будет вестись на основе модифицированного алгоритма поиска кратчайшего пути.

3. Использование математического аппарата П-циклов для декомпозиции сети с произвольной топологией на циклы с дальнейшей разра-

боткой алгоритма маршрутизации по циклам при изменении топологии сети.

Для обеспечения защиты информационных потоков от воздействий, направленных на преднамеренное формирование сложной структуры трафика, в работе предполагается разработать:

1. Методику диагностики факта преднамеренного формирования структуры трафика.

2. Методику классификации трафика.

3. Метод формирования структуры трафика, позволяющий преобразовать входной поток сложной структуры в пуассоновский простейший поток.

Комплексное использование вышеуказанных методик, методов и алгоритмов позволит обеспечить защиту военных систем связи, построенных на использовании современных телекоммуникационных протоколов, от перспективных РЭСА противника.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Макаренко С.И., Михайлов Р.Л.** Статья на депонирование на специальную тему, 46 ЦНИИ МО РФ, справка о депонировании № 23666.

2. **Цветков К.Ю., Макаренко С.И., Михайлов Р.Л.** Маршрутизация в системах связи при работе в условиях воздействия факторов дестабилизации информационных потоков // Доклады VI Всероссийской НТК «Радиолокация и радиосвязь» 19–22 ноября 2012 г. Том 2. — М.: Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, 2012. — С. 304.

3. **Михайлов Р.Л., Макаренко С.И.** Оценка устойчивости сети связи в условиях воздействия на нее дестабилизирующих факторов // Радиотехни-

ческие и телекоммуникационные системы. 2013. №4. С. 69–79.

4. **Цветков К.Ю., Макаренко С.И., Михайлов Р.Л.** Формирование резервных путей на основе алгоритма Дейкстры с целью повышения устойчивости информационно-телекоммуникационных сетей // Информационно-управляющие системы. 2014. №2. С 71–78

5. **Макаренко С.И., Михайлов Р.Л.** Модель функционирования коммутатора в сети с использованием протокола покрывающего дерева STP и исследование устойчивости сети в условиях ограниченной надежности каналов связи // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. 2013. №2. С. 61–68.



*Р.Л. Михайлов*

Военно-космическая академия имени А.Ф.Можайского

## ПОВЫШЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ НАЗЕМНО-КОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМ СВЯЗИ В УСЛОВИЯХ РАДИОЭЛЕКТРОННОГО ПРОТИВОБОРСТВА

**АННОТАЦИЯ.** В статье изложены основные положения диссертационной работы, выполненной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 20.01.09.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** устойчивость связи, маршрутизация, радиоэлектронное противоборство, PNNI, ATM.

Система спутниковой связи (ССС) в своем развитии прошла первый (1970–1985 гг.) и второй (1986–1999 гг.) этапы. Принципы и основные решения по построению ССС второго этапа были разработаны до 1995 года и не отвечают в полной мере современным требованиям системы управления ВС РФ. В настоящее время наметилось серьезное отставание ССС от современных во-

енных систем спутниковой связи ведущих зарубежных стран, в первую очередь по пропускной способности, видам и качеству услуг, предоставляемых конечному пользователю [1]. Кроме того, анализ функционирования сетевых устройств в условиях воздействий различного рода деструктивных факторов (ДФ) показал, что механизмы обеспечения устойчивости связи, применяемые

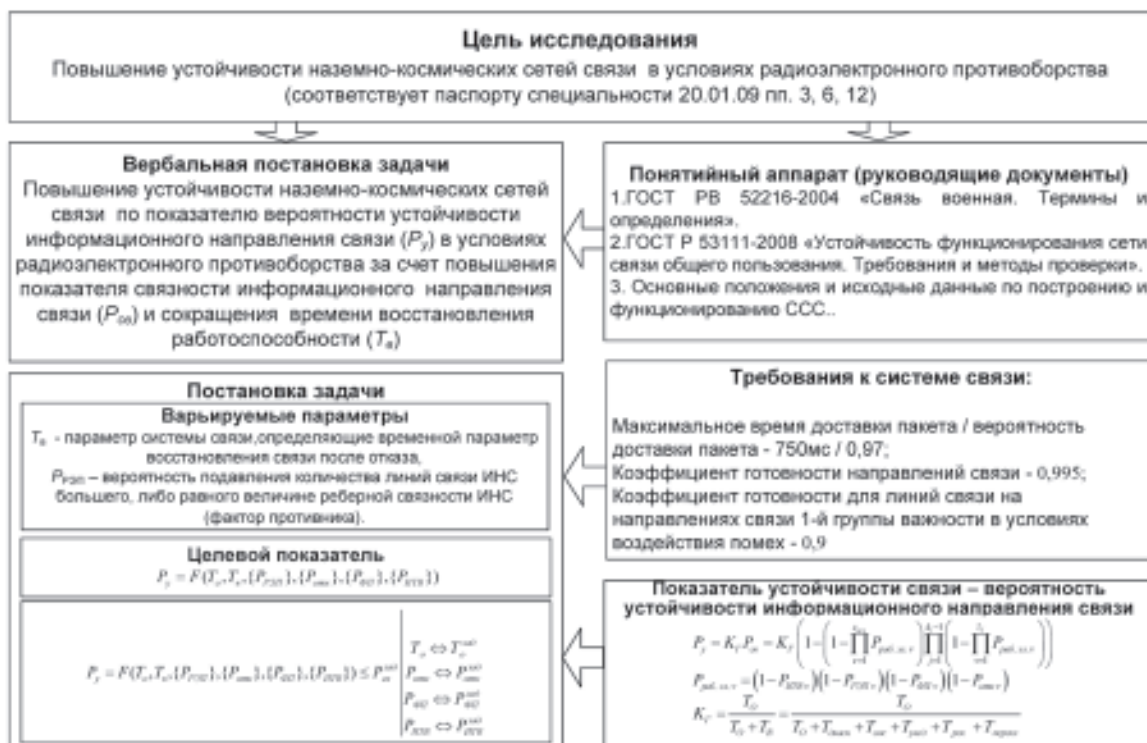


Рис. 1. Постановка научной задачи

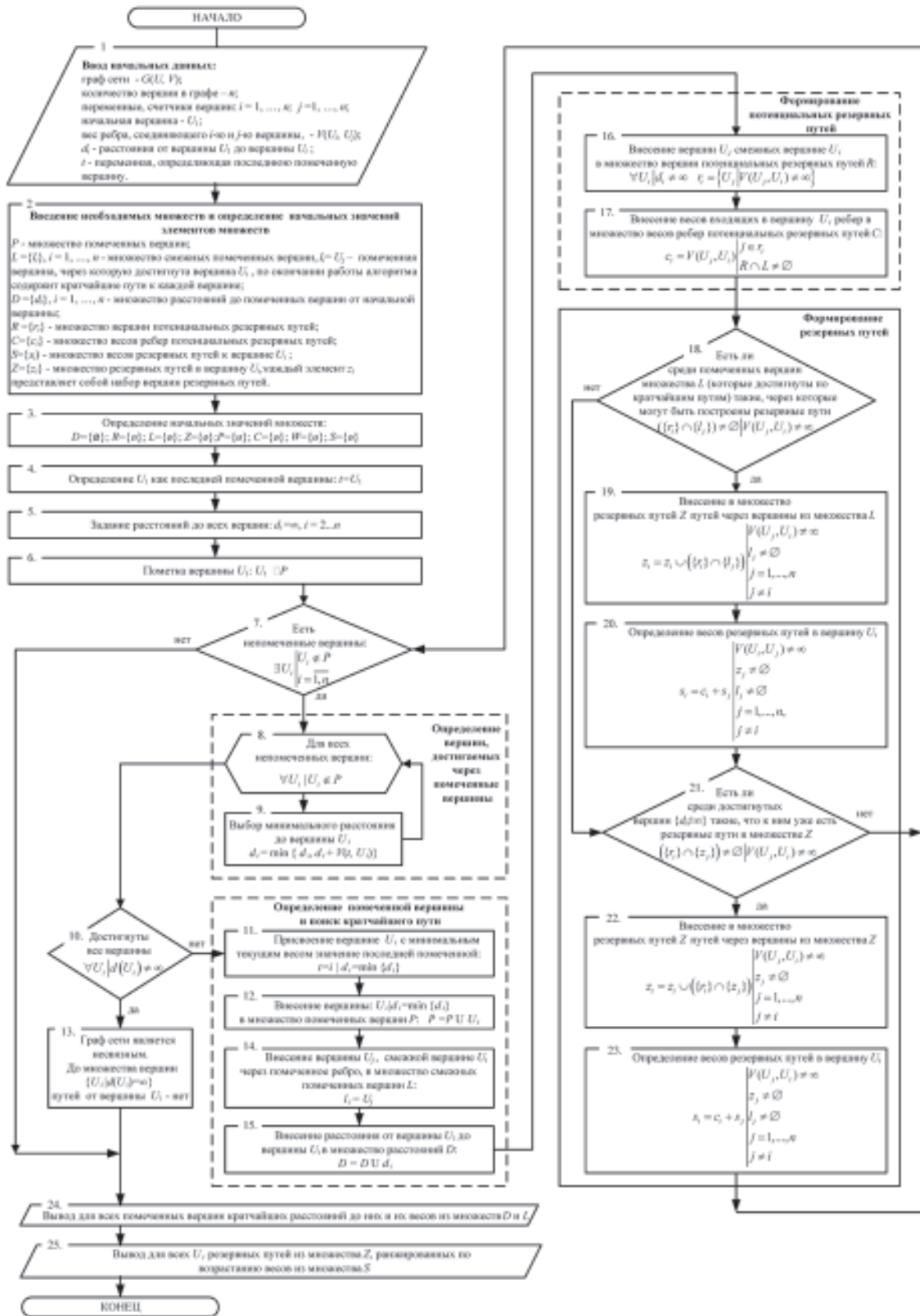


Рис. 2. Схема модифицированного алгоритма Дейкстры

в настоящее время, не в полной мере позволяют гарантировать качество обслуживания потребителей. (QoS — Quality of Service) [2]. Таким образом, цель диссертационных исследований: повышение устойчивости связи на сетевом уровне модели взаимодействия открытых систем в условиях воздействия деструктивных факторов, является актуальной.

В ходе диссертационных исследований был произведен анализ предметной области [2], определен и обоснован целевой показатель — устойчивость информационного направления связи [3]. В соответствии с целевым показателем была сформулирована научная задача исследований и обозначены пути ее решения (рис. 1).

Одним из основных технологических направлений совершенствования ССС является внедрение современных сетевых пакетных телекоммуникационных технологий (IP, MPLS, ATM, DVB-RCS и др.). При этом в качестве бортового блока коммутации пакетов и каналов планируется использование специального многопротокольного ATM-коммутатора.

Для установления и управления соединениями в ATM сетях используется протокол PNNI (Private Network-to-Network Interface) [1, 2], использующий для поиска кратчайших путей алгоритм Дейкстры. В ходе исследований была предложена модификация алгоритма

Дейкстры [4], суть которой позволяет одновременно с решением задачи поиска кратчайших путей сформировать резервные пути к узлам сети (рис. 2). На основе указанного алгоритма предложена методика поиска и резервирования кратчайших путей.

В работе [5] показано, что при использовании модифицированного алгоритма Дейкстры повышение устойчивости составит от 5 до 35 % по обоснованному показателю. Кроме того, были исследованы вопросы функционирования коммутатора [5] и маршрутизатора [6], произведена оценка влияния отказов каналов связи вследствие воздействия ДФ на надежность этих устройств. Проведено исследование влияния интервала проверки работоспособности коммутатора и интервала задержки принятия решения об отказе на устойчивость связи и пропускную способность ССС, планируемым результатом является методика обоснования временных параметров сигнализации в соединении ATM.

Дальнейшим направлением диссертационных исследований является использование технологии *P*-циклов (кольцевых топологических структур) для повышения устойчивости ССС, планируемым результатом является методика синтеза топологий ССС на основе множества виртуальных колец в интересах обеспечения требуемого уровня устойчивости связи.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кузенков А.В. Состояние и перспективы развития отечественных ретрансляторов // Аэрокосмический курьер. 2013. №2. С. 42–45.
2. Макаренко С.И., Михайлов Р.Л. Статья на депонирование на специальную тему, 46 ЦНИИ МО РФ, справка о депонировании № 23666.
3. Михайлов Р.Л., Макаренко С.И. Оценка устойчивости сети связи в условиях воздействия на нее дестабилизирующих факторов // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. 2013. №4. С. 69–79.
4. Цветков К.Ю., Макаренко С.И., Михайлов Р.Л. Формирование резервных путей на основе алгоритма Дейкстры с целью повышения устойчивости инфор-

мационно-телекоммуникационных сетей // Информационно-управляющие системы. 2014. №2. С. 71–78.

5. Макаренко С.И., Михайлов Р.Л. Модель функционирования коммутатора в сети с использованием протокола покрывающего дерева STP и исследование устойчивости сети в условиях ограниченной надежности каналов связи // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. 2013. №2. С. 61–68.

6. Макаренко С.И., Михайлов Р.Л. Модель функционирования маршрутизатора в сети в условиях ограниченной надежности каналов связи // Информационно-управляющие системы. 2014. Том 12. №2. С. 44–49.

*А.В. Мозжилкин*

кандидат технических наук, доцент, ФГБУ «33 ЦНИИИ» Минобороны России

*Ю.А. Денисеня*

ФГБУ «33 ЦНИИИ» Минобороны России

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИМИТАЦИОННОГО МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ОБОСНОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ ТРЕБОВАНИЙ К АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ РАДИАЦИОННЫМ МОНИТОРИНГОМ**

**АННОТАЦИЯ.** В докладе исследована задача обоснования технических характеристик автоматизированной системы управления радиационным мониторингом с помощью автоматизированной системы поддержки принятия решений. Определена структура системы поддержки принятия решений и перечень базовых алгоритмов имитационной модели функционирования мобильных комплексов радиационного мониторинга. Приведены основные результаты программной реализации представленной модели. Показано, что для оценки основных эксплуатационно-технических характеристик средств передачи данных радиационного мониторинга могут быть использованы приближенные зависимости из теории передачи дискретной информации — определения среднего времени ожидания сообщения на входе в канал связи и вероятности переполнения буфера.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** автоматизированная система управления, математическое моделирование, передача данных, радиационная обстановка, радиационный мониторинг.

По опыту ликвидации аварии на Чернобыльской АЭС и других техногенных катастроф на радиационно опасных объектах для принятия решения по защите населения потребуется оперативная и достоверная информация о складывающейся радиационной обстановке (РО) [1]. Объем этой информации может достигать больших значений, что, несомненно, требует автоматизации процесса сбора, передачи и обработки данных мониторинга обстановки. При этом аварии на радиационно-опасных объектах характеризуются наибольшим количеством сведений о масштабах участков радиоактивного загрязнения местности (РЗМ). Таким образом, исследования по обоснованию технических требований к автоматизированной системе управления (АСУ) радиационным мониторингом (РМ) являются актуальными и представляют несомненный научно-технический интерес.

Автоматизированная система управления (АСУ) РМ включает в себя технические сред-

ства выявления радиоактивного загрязнения, технические средства автоматизации управления приборами РМ, аппаратуру передачи данных (АПД), средства радиосвязи, электронно-вычислительные средства, размещаемые на мобильных комплексах РМ, стационарных пунктах контроля за РО и информационно-аналитический пунктах. Проведение экспериментальных исследований с целью выявления требуемых технических характеристик автоматизации управления датчиками РМ связано с большими затратами материальных ресурсов и угрозой экологической безопасности окружающей среды, поэтому для системы выявления РО имитационное математическое моделирование является практически безальтернативным методом исследования процессов, протекающих при выявлении РО.

Для решения задачи планирования развития и оптимизации системы автоматизации управления РМ требуется произвести:

оценку вероятных условий формирования РЗМ (выбор источника радиоактивного загрязнения (РЗ), метеоусловий, топографических условий);

оценку эффективности методов ведения РМ в различных условиях формирования РЗМ;

оценку требуемых и имеющихся количественных и качественных показателей системы РМ для решения задачи выявления РО в заданных условиях;

оценку вероятных источников помех в телекоммуникационных сетях связи;

сравнение нескольких неравноценных вариантов решения в силу различных исходных условий формирования РЗМ и ведения РМ.

В этом случае возникает необходимость поиска оптимального решения, согласованного с выбранным критерием оценки, а именно требованиями по оперативности, достоверности и полноте выявления РО [2]. Данные требования оказывают влияние на показатель вероятности правильного определения воздействия радиационных поражающих факторов (РПФ) на население и личный состав подразделений, осуществляющих РМ, а также адекватность принятых решений по мерам защиты в условиях воздействия РПФ [3].

Сочетание количественных и качественных показателей в задаче оптимизации технического обеспечения системы АСУ РМ соответствует характеристикам слабоструктурированной задачи и, следовательно, не позволяет полностью автоматизировать этот процесс. Слабоструктурированные задачи решаются, как правило, с помощью автоматизированных систем под-

держки и принятия решений (АСППР), в рамках которой процессы машинного решения задач сочетаются с процессами анализа результатов отдельных этапов планирования и принятия эвристических решений ответственным лицом (экспертом).

С учетом вышеизложенного схема взаимодействия эксперта и АСППР по развитию и оптимизации технического обеспечения АСУ РМ принимает вид, представлена на рис. 1.

Для решения задачи выявления оптимальных характеристик АСУ РМ необходима разработка математического аппарата, позволяющего формализовать процессы функционирования технических комплексов РМ в ходе инструментального выявления РО.

Целью функционирования имитационной математической модели, является проигрывание процессов, протекающих в системе выявления РО в различных условиях и анализ степени их влияния на требования к техническим характеристикам АСУ РМ.

В процессе принятия решения по направлениям развития и оптимизации АСУ РМ необходимо решить следующие задачи:

1. **Эффективность использования парка мобильных комплексов РМ.** Этого можно добиться за счет выбора оптимальных методов ведения РМ, что позволит рассчитать по заданному оперативному времени выявления РО необходимое (или достаточное) количество мобильных комплексов для проведения радиационного мониторинга местности или по заданному количеству мобильных комплексов — необходимое время ведения РМ местности.



Рис. 1. Схема взаимодействия эксперта и АСППР по развитию и оптимизации АСУ РМ



**2. Рациональность распределения канала связи при передаче данных о РЗМ от мобильных комплексов РМ на информационно-аналитический пункт.** К настоящему времени возможности электронно-вычислительных комплексов РМ и информационно-аналитических пунктов (ИАП) позволяют обрабатывать значительные объемы измерительной информации, что могло бы позволить проводить более детальный РМ местности. Единственным фактором, ограничивающим плотность точек контроля мощностей доз (МД) на местности, является пропускная способность канала связи. Это влечет за собой необходимость поиска компромисса между требованиями полноты и достоверности выявления РО и оперативности поступления и обработки измерительной информации на информационно-аналитический пункт.

Для решения поставленных задач необходимо исследовать:

влияние технических характеристик средств РМ (измерительных средств, средств автоматизации управления приборами РМ, подвижной платформы) на требования к техническим характеристиками АПД;

влияния технических характеристик средств передачи данных РМ на показатели оперативности, достоверности и полноты выявления РО; оптимальные режимы функционирования системы выявления РО с точки зрения оперативности и полноты сбора данных РМ.

Таким образом, разрабатываемая математическая модель функционирования АСУ РМ должна имитировать процессы формирования РЗМ и выявления фактической РО мобильными комплексами РМ и включать в себя:

1. Модель источника радиоактивного загрязнения [4].

2. Модель формирования РЗМ с учетом влияния внешних случайных факторов на базе моделей переноса примесей в атмосфере [5].

3. Алгоритм определения областей инструментальной РМ местности с мобильных комплексов наземного и воздушного базирования с учетом дальности действия радиосвязи и исходного местоположения мобильных комплексов РМ).

4. Алгоритмы расчета необходимой плотности точек измерения МД.

5. Алгоритм определения необходимого количества мобильных комплексов РМ для решения поставленной задачи в соответствии с за-

данными требованиями по оперативности и полноте получения данных РМ.

6. Алгоритмы распределения маршрутов движения мобильных комплексов радиационного мониторинга.

7. Модель сбора данных о РО мобильными комплексами с учетом неравномерности их движения по маршруту. Функция распределения средних скоростей движения по этапам маршрута РМ может быть построена на базе модификации логарифмически нормального закона распределения:

$$f(v) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_l \left(2(a + v_{3l} / \sigma_l^3) - v\right)} \times \exp\left(\frac{-\ln\left(\frac{2(a + v_{3l} / \sigma_l^3) - v}{a}\right)^2}{2\sigma_l^2}\right), \quad (1)$$

где  $a$  — заданная средняя скорость движения на маршруте РМ;  $v_{3l}$  — центральный момент 3 порядка распределения величины  $\ln(v)$ ;  $\sigma_l$  — значение дисперсии распределения величины  $\ln(v)$ .

8. Модель передачи данных от датчиков РМ по телекодовым каналам связи на ИАП), учитывающая неоднородность каналов [6].

Для определения значений математического ожидания  $M(t_{\text{пер}})$  и дисперсии  $D(t_{\text{пер}})$  при передаче сообщения по каналу связи с учетом матрицы вероятностей переходов были получены следующие аналитические выражения:

$$M(t_{\text{пер}}) = t_{\text{пер}} \left( \sum_{i=1}^n i(1-P)^{i-1} P \right), \quad (2)$$

$$D(t_{\text{пер}}) = (it_{\text{пер}} - M(t_{\text{пер}}))^2 \left( \sum_{i=1}^n i(1-P)^{i-1} P \right). \quad (3)$$

где  $P$  — вероятность доведения сообщения до адресата;  $n$  — количество повторных передач.

На рис. 2 представлены основные функциональные блоки программно-математического обеспечения для решения задачи обоснования технических требований к АСУ РМ.

Программная реализация модели функционирования системы РМ методом параллельных галсов показала, что распределение длительности временных интервалов между запросами на

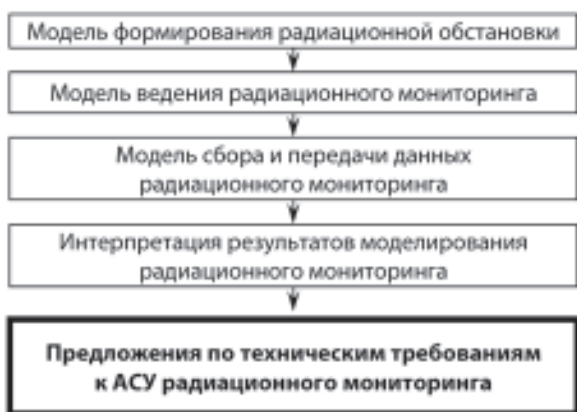


Рис. 2. Основные функциональные блоки имитационной модели функционирования мобильных комплексов РМ

передачу стремится к экспоненциальному виду. При этом математическое ожидание временного интервала между запросами на передачу данных практически равно значению среднего квадратического отклонения, что соответствует распределению Эрланга 1 порядка.

Таким образом, полученные в результате имитационного моделирования данные согласуются с теорией массового обслуживания, где распределение Эрланга ( $k, \lambda$ ) используется для описания распределение длительности интервала времени до появления  $k$  событий процесса Пуассона с параметром  $\lambda$  (интенсивность потока данных, сообщ./с).

Полученные результаты имитационного моделирования сопоставимы с результатами, получаемыми по аналитическим зависимостям из теории дискретной передачи данных для определения среднего времени ожидания сообщения на входе в канал связи и вероятности переполнения буфера. Таким образом, для оценки основных эксплуатационно-техниче-

ских характеристик средств передачи данных РМ могут быть использованы приближенные зависимости из теории передачи дискретной информации — определения среднего времени ожидания сообщения на входе в канал связи и вероятности переполнения буфера. С помощью предложенной модели можно также оценить условия бесперебойной работы для существующих и перспективных технических средств сбора и передачи данных радиационного мониторинга.

#### Выводы:

1. Для обоснования технических характеристик АСУ РМ может быть использована АСППР, ядром программно-математического обеспечения которой должна стать имитационная модель функционирования мобильных комплексов РМ в процессе выявления РО.

2. Сочетание количественных и качественных показателей в задаче обоснования технических характеристик АСУ РМ соответствует характеристикам слабоструктурированной задачи, которая может быть эффективно решена с помощью АСППР.

3. Разрабатываемая математическая модель функционирования мобильных комплексов РМ должна имитировать процессы формирования РЗМ и процессы выявления фактической РО мобильными комплексами РМ на всех этапах. Определен перечень основных алгоритмов и моделей предлагаемой АСППР, произведено распределение задач между экспертом и программной средой АСППР.

4. Результаты программной реализации модели показали, что для оценки требуемых технических характеристик средств передачи данных РМ применима теория передачи дискретной информации.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Руководство по мониторингу при ядерных или радиационных авариях. МАГАТЭ. Вена. IAEA-TECDOC-1092/R. ISSN 1011-4289. IAEA, 2002, 313 с.

2. Садовников Р.Н., Бойко А.Ю., Васильев А.В. Планирование режима разведки в районе аварийного выброса радиоактивных веществ с учетом метеорологических условий формирования загрязнения местности. АНРИ, 2011, № 2 (65). С. 54–61.

3. Садовников Р.Н. Оценка достоверности решений по защите населения после крупномасштабной

радиационной аварии. Экологические приборы и системы. 2004, № 4. С. 55–57.

4. Израэль Ю.А. Мирные ядерные взрывы и окружающая среда. Л.: Гидрометеиздат, 1974. 135 с.

5. Метеорология и атомная энергия (пер с англ.) — Л.: Гидрометеиздат, 1971. 647 с.

6. Ведерникова А.П., Самхарадзе Т.Г. Математическая модель и методика расчета параметров потока измеренных данных. Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика, 2010, № 12. С. 24–31

*Д.В. Салюк*

кандидат технических наук, доцент, ПАО «Интелтех»

## **ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ СЕТЯМИ СВЯЗИ**

**АННОТАЦИЯ.** Рассматриваются задачи управления сетями беспроводного доступа и транспортными сетями связи и возможности их решения путем использования современных программных средств поддержки принятия решений в автоматизированных системах управления указанными сетями связи.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** Сеть связи, управление сетью связи, программное средство, беспроводный доступ, транспортная сеть

Среди телекоммуникационных систем (ТКС), обеспечивающих функционирование распределенных в пространстве информационных систем соответствующих органов управления МО, МВД, МЧС и других силовых ведомств важную роль играют беспроводные системы связи (БСС). Именно на БСС возлагаются обычно задачи своевременного обмена актуальной информацией между любыми местами расположения должностных лиц (ДЛ) и (или) технических средств (ТС) соответствующих автоматизированных систем управления (АСУ), в том числе, и в движении. Причем использоваться БСС могут как в повседневной обстановке, так и в особых условиях в районах с полностью или частично разрушенной местной телекоммуникационной инфраструктурой.

В роли средств БСС могут использоваться как традиционные автономные средства КВ (УКВ) радиосвязи, так и средства различных сетей беспроводного доступа (СБД), построенных на основе технологий транкинговой и сотовой связи, вместе с транспортными сетями (ТС), реализующими телекоммуникационную основу внутренней инфраструктуры СБД.

Современные БСД представляют собой сложные управляемые системы, которые, с одной стороны, призваны обслуживать ДЛ и ТС АСУ соответствующих ведомств, а с другой стороны, они сами должны управляться собствен-

ными АСУ сетями связи. От эффективности функционирования указанных АСУ сетями связи, включая СБД, в конечном счете, зависит и эффективность функционирования обслуживаемых АСУ, в составе которых (или в интересах которых) функционируют СБД.

Одной из задач АСУ СБД является информационная поддержка принятия решений при планировании связи, в ходе которого должна быть выбрана такая конфигурация сети связи, которая в наибольшей степени соответствовала бы потребностям обслуживаемой АСУ на заданной территории [1]. Указанная информационная поддержка невозможна без использования современных программных средств поддержки принятия решений (СППР), принимаемых на основе соответствующего методического аппарата, заложенного в эти программные средства [2].

Соответственно, для качественного обеспечения беспроводной связью органов АСУ силовых ведомств необходимо, чтобы СППР АСУ СБД и ТС позволяла обрабатывать доступную информацию о местах размещения ДЛ и ТС, а также о распределении нагрузки и типах трафика.

Главным итогом планирования применения СБД является выбор фиксированных мест размещения стационарных (или полустационарных — перевозимых и переносимых, работающих

только в неподвижном положении) абонентских терминалов (АТ), ретрансляторов (РС) и базовых станций (БС), выполняющих роль «точек доступа» как для фиксированных АТ, так и для мобильных станций (МС) в заданном районе их возможного размещения. Кроме того, в ходе планирования определяются режимы работы всех взаимодействующих средств СБД и ТС, характеризующиеся определенной совокупностью пространственно-временных и частотно-энергетических параметров радиоизлучающих средств, а также потоковыми и маршрутными характеристиками средств каналообразования и коммутации.

Мощным универсальным инструментом многих специализированных СППР, включая СППР АСУ СБД, являются современные геоинформационные технологии (ГИТ) [3]. Основным эффектом от использования ГИТ в составе СППР АСУ СБД проявляется в предоставлении возможности оперативного и достоверного учета многостороннего влияния земной поверхности и местных предметов на результаты распространения радиоволн как между радиосредствами развертываемой СБД, так и на результат их взаимодействия с мешающими радиоэлектронными средствами (РЭС) других систем.

Однако предоставляемые возможности ГИТ можно эффективно реализовать в составе СППР АСУ СБД и ТС лишь при разумном использовании циркулирующей в АСУ информации, обилие которой само по себе еще не гарантирует

качество и своевременность принимаемых решений. Выбор алгоритмов более «разумного» использования цифровой картографической информации представляет собой основную проблему, решаемую при создании специализированных или настраиваемых на решение конкретных прикладных задач профессиональных геоинформационных систем (ГИС). При этом целью подобной оптимизации алгоритмов поддержки принятия решений может служить приемлемый компромисс между временем и точностью расчетов.

Анализ последовательности решаемых задач при планировании СБД с использованием ГИТ позволил разделить их на три (совместно влияющих на итоговое время расчетов) вложенных уровня [4], отличающиеся классами используемых алгоритмов принятия решения (рис. 1). При этом, как отмечено в [4], в общем случае при расчетах на нижнем уровне также можно выделить три вложенных уровня, подобных приведенным на рисунке, что указывает на методологическую общность приведенного разложения, характерного для моделирования любых сложных иерархических систем.

Оптимизация алгоритмов выбора на верхнем уровне является наиболее сложной, поскольку затрагивает слабо формализуемые предпочтения выбора лиц принимающих решения. Поэтому повышение эффективности использования ГИТ на данном уровне в основном сводится к созданию удобных диалоговых оболочек СППР АСУ,



Рис. 1. Трехуровневая модель решения задач планирования связи в АСУ СБД с использованием ГИТ



позволяющих получать наглядную (преимущественно графическую) информацию о множествах значений исходных данных. При этом в качестве рассматриваемых исходных данных могут использоваться результаты предварительных расчетов ряда показателей качества связи при отдельных значениях перебираемых параметров с ограниченным учетом внешних факторов. К подобным характеристикам исходных данных можно отнести изображения зон радиодоступа, карты уровней электромагнитного поля, границы районов размещения РЭС внешних систем, а также результаты выбора части варьируемых параметров на предшествующих циклах решения задачи.

На среднем уровне для оптимизации алгоритмов перебора варьируемых параметров в общем случае могут быть использованы известные методы математического программирования. При этом основная сложность выбора подходящего алгоритма заключается в необходимости учета преобладающей многоэкстремальности зависимостей оцениваемых показателей качества от перебираемых параметров пространственного размещения радиосредств СБД. В худшем случае приходится использовать алгоритмы полного перебора. Но и в этом случае можно заметно повысить эффективность поиска за счет выбора локальных областей поиска, начальной точки, траектории перебора, условий остановки и перехода в другую область. На данном уровне принятия решения ГИТ позволяют создать удобный графический интерфейс СППР АСУ для интерактивного управления перебором, что может иметь вид вмешательства человека в динамическое изменение условий остановки и продолжения поиска при реализации, например, метода ветвей и границ.

На нижнем уровне оптимизация алгоритмов вычисления показателей, характеризующих очередное значение варьируемых параметров, заключается в сокращении времени выборки и преобразования исходных данных в искомый результат.

В простейшем случае расчет сводится к выборке из памяти ЭВМ результата, адресом которого является совокупность исходных данных. При этом оптимизация алгоритма вычисления заключается в оптимизации структуры базы данных СППР АСУ и используемых процедур считывания.

В более сложном случае расчет может разрастись в переборную задачу, включающую опять-таки три уровня: уточнения множества влияющих

на результат факторов, перебора их значений и вычисления промежуточных характеристик.

Обобщенно критерием пригодности выбранных мест размещения и режимов работы радиосредств СБД и ТС является прогнозируемая (с использованием методов адаптивно-игрового моделирования [5]) возможность их совместного функционирования с заданными системными показателями качества с учетом ограниченной информации о мешающих факторах.

На верхнем уровне в результате декомпозиции обобщенных требований к сети связи на требования к местам размещения радиосредств БСС можно выделить три группы требований к последним:

- 1 — реализуемость размещения;
- 2 — осуществимость заданных связей;
- 3 — устранимость мешающих связей.

Первая группа требований определяет условия физической реализуемости доставки и развертывания средств СБД и ТС в анализируемом месте в заданные сроки в заданных режимах работы.

Вторая группа требований определяет условия пригодности образуемых линий и сетей связи в заданных режимах работы, обеспечивающих выполнение заданных требований к связи.

Третья группа требований определяет условия отсутствия мешающих (электромагнитных и физических) воздействий развертываемых средств СБД и ТС в заданных режимах работы друг на друга и на внешние объекты, а также внешних объектов на средства СБД и ТС.

На рис. 2 приведен вариант информационно-логической структуры СППР АСУ СБД и ТС, построенной на базе программного комплекса ONEPLAN RPLS [6,7], который позволяет реализовать описанные выше процедуры оптимизации решения задач планирования СБД и ТС с использованием ГИТ.

Показанная на рис. 2 информационно-логическая структура отражает взаимодействие основных функциональных модулей ПК ONEPLAN RPLS в ходе решения типовых задач планирования СБД.

В модуле базы данных (БД) хранятся пространственно-технические характеристики исходного множества вариантов построения сети, из которого, по результатам расчета частных показателей, выбирается вариант, наиболее предпочтительный с точки зрения лица принимающего решение.



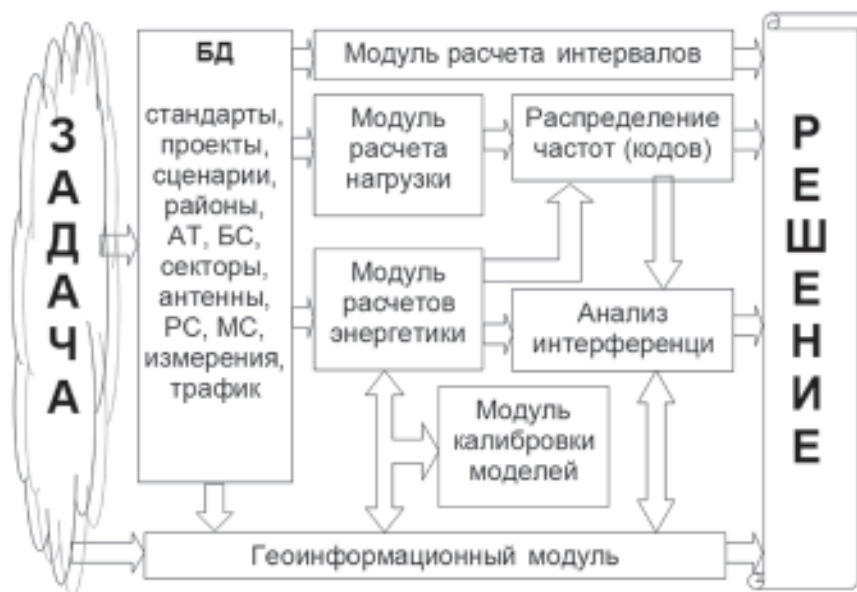


Рис. 2. Информационно-логическая структура СППР АСУ СБД и ТС на базе программного комплекса ONEPLAN RPLS

Геоинформационный модуль обеспечивает доступ расчетных модулей к матрицам рельефа и распределения трафика, отображение векторных карт местности и результатов расчета, а также вспомогательных растровых изображений.

Расчет энергетических параметров сети, калибровка расчетных моделей, расчет нагрузки, формирование частотного распределения и анализ интерференции выполняется соответствующими модулями.

В целом, проведенные исследования показали, что за счет построения СППР АСУ СБД и ТС на базе геоинформационных технологий с использованием предлагаемых способов оптимизации алгоритмов решения задач планирования связи, реализованных в современных специализированных программных средствах, можно значительно снизить сроки принятия решений при сохранении гарантированности прогнозируемого качества связи в интересах обслуживаемых органов АСУ.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Салюк Д.В., Зайчик Е.М. Методика обоснования размеров зон покрытия сети связи с подвижными объектами // 53-я НТК профессорско-преподавательского состава научных сотрудников и аспирантов. — СПб: СПбГУТ, 2000. — С. 66–67.
2. Бабков В.Ю., Вознюк М.А., Михайлов П.А. Сети мобильной связи. Частотно-территориальное планирование. — М.: Горячая линия-Телеком, 2007. — 224 с.
3. Частотно-территориальное планирование сотовых сетей мобильной радиосвязи / В кн. Бабков В.Ю., Цикин И.А. Сотовые системы мобильной радиосвязи. — СПб.: БХВ-Петербург, 2013. — С.333–416.
4. Василевич Е.В., Одоевский С.М. Особенности построения информационной системы обеспечения беспроводной связью органов управления МЧС //

Проблемы управления рисками в техносфере. — СПб: СПбГУПС, 2008. — № 4. — С.149–156.

5. Калока В.И., Одоевский С.М. Адаптивно-игровое моделирование военных сетей беспроводного абонентского доступа. — Новочеркасск: УПЦ «Набла» ЮРГТУ (НПИ), 2009. — 216 с.

6. Одоевский С.М., Степанец В.А. Отечественное ПО (программное обеспечение) для подвижной и фиксированной связи — российским войскам // Арсенал. Военно-промышленное обозрение. — 2010. — № 6. — С. 117–119.

7. Одоевский С.М., Степанец В.А. 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.А. Смагин*

доктор технических наук, профессор

*Я.Н. Гусеница*

кандидат технических наук

Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского

## **О МОДЕЛИРОВАНИИ ОДНОКАНАЛЬНЫХ НЕСТАЦИОНАРНЫХ СИСТЕМ С ПРОИЗВОЛЬНЫМИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯМИ МОМЕНТОВ ВРЕМЕНИ ПОСТУПЛЕНИЯ ЗАЯВОК И ИХ ОБСЛУЖИВАНИЯ**

**АННОТАЦИЯ.** Предлагается модель одноканальной системы обслуживания с произвольными распределениями моментов времени между поступающими требованиями и моментов времени их обслуживания. В основу модели положено использование преобразований Лапласа для изображения вероятностей состояний системы, а также применение принципа вероятностного баланса при составлении уравнений для изображений вероятностей состояний системы. Предлагаемая модель позволяет исследовать переходный процесс в системах, которые называются нестационарными.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** нестационарная система обслуживания, произвольные распределения, вероятность состояния, граф состояний, преобразование Лапласа, принцип баланса изображений вероятностей, рекуррентные уравнения.

### **Введение**

Значительная часть исследований эффективности вычислительных систем посвящена изучению их функционирования в стационарном режиме. Широкое применение нашли модели и методы стационарной теории массового обслуживания. Однако в интересах многих приложений представляет интерес исследование с теоретической точки зрения функционирования систем обслуживания с изменяющейся интенсивностью рабочей нагрузки в переходных, нестационарных режимах работы. Решение этой задачи позволяет оценивать поведение систем в случае пиковых динамических нагрузок, переходных нестационарных процессах и принимать необходимые меры по повышению качества работы управляющих систем.

Модели функционирования систем с изменяющейся интенсивностью рабочей нагрузки и методы их расчета рассматривались, например, в работах [1–3]. Однако в практическом при-

менении они сложны и громоздки. Поэтому в работе [4] предлагался инженерный метод оценивания качества функционирования систем с изменяющейся интенсивностью рабочей нагрузки в переходном режиме. Рассматривалась следующая математическая модель.

На вход одноканальной системы последовательно поступало  $N$  заданий. Распределение временных интервалов между моментами поступления заданий, а также моментами обработки заданий описывалось экспоненциальными законами с интенсивностями, зависящими от номеров заданий. Предусматривалась системная память — накопитель очереди. Составлялся марковский граф состояний и переходов, по нему — система дифференциальных уравнений, которая затем решалась при заданных начальных условиях. В заключение предлагалось расширить область применения модели за счет использования различных аппроксимаций распределений, позволяющих снять ограничения об экспоненциальности распределений.

В последующих работах этого направления подобные модели получили название моделей нестационарных систем массового обслуживания. В качестве примера сделаем ссылку на монографию [5], в которой изучены разнообразные нестационарные одноканальные и многоканальные модели с различными видами марковизации распределений между поступающими заявками и длительностями их обслуживаний.

Недавно Бубновым В.П. и Ереминым А.С. предложено расширение свойств нестационарной модели за счет учета в ней времени задержки на обслуживание. Ими построен соответствующий процессу граф, записана и решена система дифференциальных уравнений. Однако предложенная модель является марковской, у которой оба распределения экспоненциальны, а задержка времени постоянна.

В настоящей работе представлены принципы построения немарковской модели одноканальной нестационарной системы с произвольными распределениями моментов времени поступления заявок и их обслуживания, а также описан путь для учета различных видов временных задержек в системе.

**Математическая формализация модели**

В соответствии с работой [5] изобразим граф состояний и переходов одноканальной системы обслуживания на рис. 1. В отличие от графа [5], данный граф содержит переходы — стрелки

вниз, связанные не с интенсивностями поступления в систему прибывающих заявок  $\lambda$ , а с изображениями по Лапласу плотностей вероятностей времени между заявками  $a^*(s)$ , у которых  $s$  — обозначения символа преобразования и комплексной переменного Лапласа. Переходы — стрелки слева направо под углом также связаны не с интенсивностями обслуживаний прибывших заявок  $\mu$ , а с изображениями по Лапласу плотностей вероятностей времен их обслуживания —  $b^*(s)$ . Благодаря такому представлению мы стремимся перейти от марковских случайных процессов к немарковским. Однако для такого перехода нам потребуется не модель дифференциальных уравнений типа «гибели и размножения», а другая математическая модель — модель «комплексного представления вероятностей».

Для простоты представления формализации системы обслуживания здесь рассмотрим только модель системы с одинаковыми параметрами переходов  $a^*(s)$ ,  $b^*(s)$ , связывающих все состояния на графе.

Сначала рассмотрим для доказательства справедливости «комплексной формализации» самый простейший граф. Для этого изобразим два графа на рис. 2 и 3.

Граф, показанный на рис. 2, имеет два состояния с возможными многократными переходами между ними (замкнутый граф). Граф,

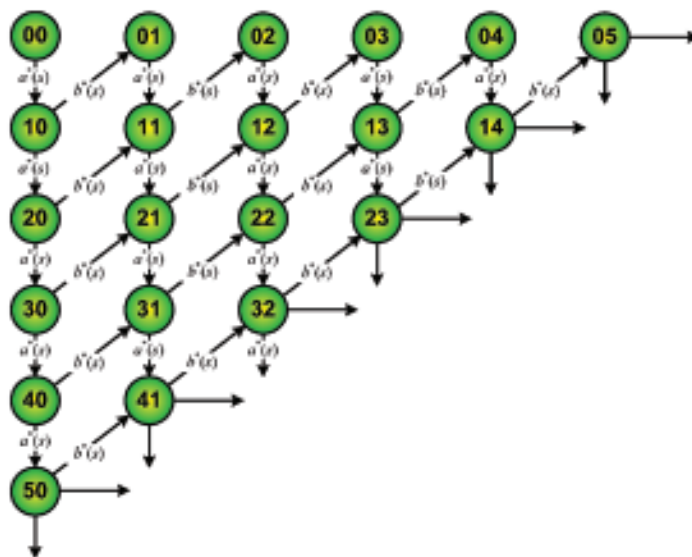


Рис. 1. Граф состояний и переходов нестационарной системы обслуживания

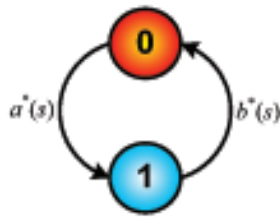


Рис. 2. Замкнутый граф обслуживания

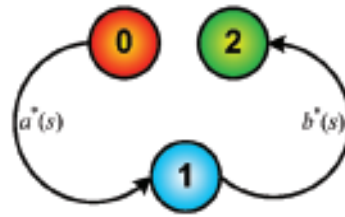


Рис. 3. Разомкнутый граф обслуживания

показанный на рис. 3, имеет три состояния, только с двумя возможными переходами между ними (разомкнутый граф). Для этих графов вероятности состояний, представленные в комплексном виде, принимают следующие формы записи:

$$\begin{aligned}
 P_0^*(s) &= \frac{1 - a^*(s)}{s(1 - a^*(s)b^*(s))}, & R_0^*(s) &= \frac{1 - a^*(s)}{s}, \\
 P_1^*(s) &= \frac{a^*(s)}{s(1 - a^*(s)b^*(s))}, & R_1^*(s) &= \frac{a^*(s)(1 - b^*(s))}{s}, \\
 R_2^*(s) &= \frac{a^*(s)b^*(s)}{s}.
 \end{aligned} \quad (1)$$

Нетрудно убедиться, что

$$\sum_{i,j} P_{i,j}^*(s) = \frac{1}{s}; \quad \sum_{i,j} R_{i,j}^*(s) = \frac{1}{s}. \quad (2)$$

Формулы (2) подтверждают правильность определения изображений Лапласа для вероятностей рассматриваемых событий.

Для наглядности представления (1) запишем формулы при экспоненциальных распределениях. Будем иметь:

$$\begin{aligned}
 P_0^*(s) &= \frac{s + \mu}{s(s + \lambda + \mu)}, & R_0^*(s) &= \frac{1}{s + \lambda}, \\
 P_1^*(s) &= \frac{\lambda}{s(s + \lambda + \mu)}, & R_1^*(s) &= \frac{\lambda}{(s + \mu)(s + \lambda)},
 \end{aligned} \quad (3)$$

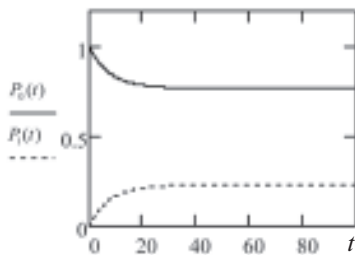


Рис. 4. Зависимость вероятностей состояний от времени для замкнутого графа

$$R_2^*(s) = \frac{\mu\lambda}{s(s + \mu)(s + \lambda)}.$$

Далее от выражений (3) перейдем к их представлению с учетом зависимости от времени:

$$\begin{aligned}
 P_0(t) &= \frac{\mu}{\mu + \lambda} + \frac{\lambda}{\mu + \lambda} e^{-(\mu + \lambda)t}, & R_0(t) &= e^{-\lambda t}, \\
 P_1(t) &= \frac{\lambda}{\mu + \lambda} [1 - e^{-(\mu + \lambda)t}], & R_1(t) &= \frac{\lambda(e^{-\lambda t} - e^{-\mu t})}{\mu - \lambda}, \\
 R_2(t) &= 1 - \frac{\mu e^{-\lambda t} - \lambda e^{-\mu t}}{\mu - \lambda}.
 \end{aligned} \quad (4)$$

Для изображения кривых (4) на графиках примем  $\lambda = 0,3 \text{ ч}^{-1}$ ,  $\mu = 0,1 \text{ ч}^{-1}$ .

Графики кривых показаны на рис. 4 и 5. Они наглядно поясняют различие двух случайных процессов для графов, показанных на рис. 2 и 3.

Для дальнейшей формализации модели графа на рис. 1 нам потребуется введение двух условных вероятностей переходов, определяющих выбор дальнейшего движения случайного процесса из состояний графа, имеющих разветвления.

Пусть плотности вероятности  $a(t)$  соответствует функция распределения

$$A(t) = \int_0^t a(z) dz.$$

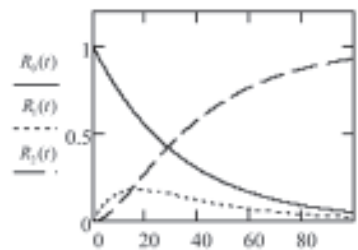


Рис. 5. Зависимость вероятностей состояний от времени для разомкнутого графа

Кроме того пусть плотности вероятности  $b(t)$  соответствует функция распределения

$$B(t) = \int_0^t b(z) dz .$$

Тогда условная вероятность выбора предпочтения из двух событий, заключающихся в поступлении новой заявки в систему или обслуживание в ней имеющейся заявки, будет определяться так:

— вероятность выбора поступления новой заявки

$$\alpha = \int_0^{\infty} \bar{B}(z) dA(z) ,$$

где  $\bar{B}(t) = 1 - B(t)$ ;

— вероятность выбора обслуживания имеющейся заявки

$$\beta = \int_0^{\infty} \bar{A}(z) dB(z) ,$$

где  $\bar{A}(t) = 1 - A(t)$ .

Для экспоненциальных распределений имеем

$$\alpha = \frac{\lambda}{\mu + \lambda}, \quad \beta = \frac{\mu}{\mu + \lambda} .$$

Для того чтобы показать необходимость применения введенных условных вероятностей, рассмотрим более сложный подграф, заимствованный из графа на рис. 1.

По графу на рис. 6 составим следующие изображения Лапласа вероятностей состояний:

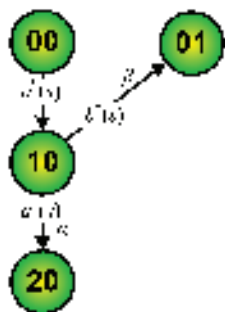


Рис. 6. Граф состояний и переходов нестационарной системы обслуживания

$$\begin{aligned} P_{00}^*(s) &= \frac{1 - a^*(s)}{s}, \\ P_{10}^*(s) &= \frac{a^*(s)[\alpha(1 - a^*(s)) + \beta(1 - b^*(s))]}{s}, \\ P_{01}^*(s) &= \frac{a^*(s)\beta b^*(s)}{s}, \\ P_{20}^*(s) &= \frac{\alpha(a^*(s))^2}{s}. \end{aligned} \tag{5}$$

Суммируя формулы (5), получаем:  $\sum_{i,j} P_{i,j}^* = \frac{1}{s}$ , что подтверждает правильность выведенных формул.

Можно было бы рассмотреть и другие, более сложные подграфы графа на рис. 1, но мы ограничимся приведенными случаями.

Вместе с тем, практический интерес представляет подграф, содержащий хотя бы один узел с двумя входами и двумя выходами. Поэтому далее мы рассмотрим узел с четырьмя связями с другими узлами и приведем общую формулу, связывающую все необходимые изображения Лапласа для смежных вероятностей. На рис. 7 изображен подобный подграф.

В соответствии с изображением связей на данном графе общая формула может быть записана в следующем виде:

$$\begin{aligned} (\alpha a^*(s) + \beta b^*(s)) P_{i,j}^*(s) &= \\ = \alpha a^*(s) P_{i-1,j}^*(s) + \beta b^*(s) P_{i+1,j-1}^*(s). \end{aligned} \tag{6}$$

Для того, чтобы пользоваться формулой (6) при вычислении требуемых показателей по графу на рис. 1, ее необходимо дополнить формулами для тех подграфов, которые не имеют четырех связей. Такими подграфами являются подграфы с состояниями  $i, 0$  и подграфы с состояниями  $0, j$  для  $i, j = 1, 2, 3, \dots$ . Для них соответствующие формулы связи записываются в виде:

$$\begin{aligned} (\alpha a^*(s) + \beta b^*(s)) P_{i,0}^*(s) &= \\ = \alpha a^*(s) P_{i-1,0}^*(s) + \beta b^*(s), & \tag{7} \\ a^*(s) P_{0,j}^*(s) &= \beta b^*(s) P_{1,j-1}^*(s). \end{aligned}$$

Изображение Лапласа вероятности состояния для начального узла с индексом 00 всегда равно:

$$P_{0,0}^*(s) = \frac{1 - a^*(s)}{s}. \tag{8}$$



Правило записи выражений (6–8) можно называть правилом вероятностного баланса в изображении Лапласа для узлов состояний. Оно аналогично правилу вероятностного баланса для узлов состояний марковской схемы «гибели и размножения».

**Основные вычислительные возможности модели**

Следует указать на то, что на графе рис. 1 строки определяют числа поступивших заявок в систему, а столбцы — числа обслуженных в ней заявок. Если выделить узел графа с номером  $i, j$ , то вероятность и ее изображение по Лапласу соответствуют такому состоянию системы, когда в нее поступило  $i$  заявок, из которых  $j$  заявок было обслужено. Чтобы определить математическое ожидание числа заявок, поступивших в систему при числе обслуженных заявок, равном нулю, следует применить формулу:

$$v_{0,0}^{(1)} = \sum_{k=0}^{\infty} k P_{k,0}, \quad (9)$$

где  $P_{i,0}$  — стационарная вероятность поступления в систему ровно  $i$  заявок, при условии, что ни одна из них не была обслужена, а верхний индекс (1) означает, что определяется первый начальный момент числа поступивших заявок.

Если необходимо определить математическое ожидание числа поступивших заявок  $i$  при условии, что  $j \leq i$  из них было обслужено, то можно воспользоваться формулой:

$$v_{i,j}^{(1)} = \sum_{k=0}^i k P_{k,j}, \quad (10)$$

где  $P_{k,j}$  — стационарная вероятность поступления в систему  $k$  заявок в  $i$ -м столбце графа, или иначе — при условии, что  $j$  заявок из числа поступивших заявок было обслужено.

Подобным образом можно определять и другие необходимые начальные моменты.

В том случае, когда граф является конечным и достаточно простым по сложности, можно применять прямое и обратное преобразование Лапласа и находить представление вероятностей во временной области. Однако это следует рассматривать как исключение для модели, которая в основном ориентирована на получение стационарных вероятностей состояний.

**Об исследовании моделей систем обслуживания с временными задержками**

В предлагаемой здесь модели учет задержек можно производить принципиально достаточно просто. Задержка может быть как в начале поступления заявки в систему, так и в ее конце. Также задержка может быть в начале и в конце времени обслуживания. В любом из этих случаев можно воспользоваться изображением свертки нужных плотностей вероятностей в преобразовании Лапласа. Свернутую плотность далее нужно подставить в модель графа и поступать так, как было изложено в данной работе. Вырожденное распределение здесь также легко учитывается. Кроме того, при необходимости может учитываться и достоверность контроля состояний в модели.

**Замечание об использовании в модели неодинаковых распределений вероятностей**

В указанном случае предложенная модель принципиально остается работоспособной, но процесс получения необходимых численных решений значительно усложняется.

Что касается вопроса применимости модели для многоканальных систем обслуживания, то ответ на него остается открытым для исследования. Здесь для более подробного ознакомления состояния вопроса рекомендуется работа [6].

**Пример**

Произведем численные расчеты для определения вероятностей состояний подграфа, изображенного на рис. 6, и представим их временные зависимости графически. Для этого воспользуемся изображениями вероятностей четырех состояний формулами (5). Примем следующие исходные данные. Законы распределения нормальные. Плотность вероятности времени между поступающими заявками

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-m)^2}{2\sigma^2}} \text{ с параметрами } m = 20 \text{ ч, } \sigma = 5 \text{ ч.}$$

Плотность вероятности времени обслуживания заявки  $g(t) = \frac{1}{\theta\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-n)^2}{2\theta^2}}$  с параметрами  $n = 15$  ч,  $\theta = 3$  ч. Соответствующие функции распределения равны:

$$A(t) = \int_0^t f(z) dz, \quad B(t) = \int_0^t g(z) dz.$$

Однако легко убедиться, что численное вычисление выражений (5) в среде Mathcad невозможно. Вероятно, это обусловлено сравнительно слабым представлением выражений для прямого и обратного преобразований Лапласа в данной среде, что даже при «слабых» изображениях вычисления занимают порядка несколько часов времени. Поэтому воспользуемся одним из приближенных методов аппроксимации плотностей вероятностей [7], который назван методом гипердельтной аппроксимации. Для приближенного представления по методу моментов воспользуемся четырьмя начальными моментами, включая и нулевой момент. Тогда в новых обозначениях для нормального закона распределения будем иметь:

$$a(t) = \frac{1}{2}(\delta(t-15) + \delta(t-25)),$$

$$b(t) = \frac{1}{2}(\delta(t-12) + \delta(t-18)), \quad (11)$$

где  $\delta(\bullet)$  — дельта-функция Дирака.

Для получения (11) используется формула для нормальной плотности вероятности  $f(t) \approx \frac{1}{2}(\delta(t-m+\sigma) + \delta(t-m-\sigma))$ , которая приведена в работе [7]. Функции распределения для (11) будут равны:

$$A(t) = \frac{1}{2}(\Phi(t-15) + \Phi(t-25)),$$

$$B(t) = \frac{1}{2}(\Phi(t-12) + \Phi(t-18)), \quad (12)$$

где  $\Phi(\bullet)$  — функция Хевисайда, равная  $\Phi(x) = \int_{-\infty}^x \delta(t)dt$ .

Условные вероятности переходов находятся по формулам:

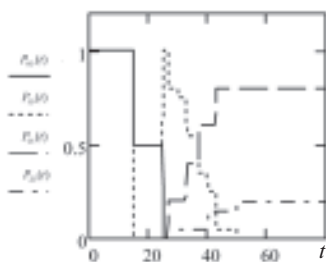


Рис. 8. Графики вероятностей состояний

$$\alpha = \int_0^{\infty} (1 - A(z))g(z)dz = 0,804,$$

$$\beta = \int_0^{\infty} (1 - G(z))dz = 0,196. \quad (13)$$

Изображения Лапласа вероятностей аппроксимированных плотностей вероятностей (11) будут равны:

$$a^*(s) = \frac{1}{2} \left( e^{-15s} + (e^{-15s})^{\frac{5}{3}} \right),$$

$$b^*(s) = \frac{1}{2} \left( e^{-12s} + (e^{-12s})^{\frac{3}{2}} \right). \quad (14)$$

Далее, применяя обратное преобразование Лапласа, найдем все необходимые вероятности четырех состояний (5):

$$P_{00}(t) = 1 - \frac{1}{2}(\Phi(t-25) + \Phi(t-15));$$

$$P_{10}(t) = 0,5\Phi(t-25,0) - 0,201\Phi(t-37,0) - 0,098\Phi(t-40,0) - 0,201\Phi(t-43,0) - 0,049\Phi(t-50,0) - 0,201\Phi(t-33,0) - 0,201\Phi(t-27,0) - 0,049\Phi(t-30,0) + 0,5\Phi(t-15,0);$$

$$P_{01}(t) = 0,201\Phi(t-33,0) + 0,201\Phi(t-37,0) + 0,201\Phi(t-43,0) + 0,201\Phi(t-27,0);$$

$$P_{20}(t) = 0,049\Phi(t-30,0) + 0,098\Phi(t-40,0) + 0,049\Phi(t-50,0). \quad (15)$$

На рис. 8 показаны графики вероятностей, а на рис. 9 — сумма этих вероятностей.

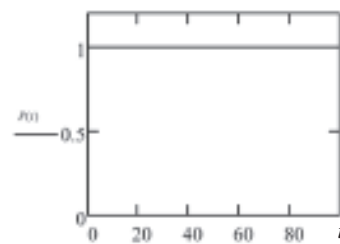


Рис. 9. Графики суммы вероятностей состояний

### Заключение

В настоящее время исследование переходных процессов в вероятностных системах обслуживания более известных, как нестационарные вероятностные процессы, является достаточно актуальным.

В отличие от моделей исследования нестационарных систем, существенно опирающихся на экспоненциальные распределения, в данной работе предлагается модель с использованием произвольных распределений вероятностей. Математическая формализация модели основана не на применении классической модели «гибели и размножения» во временной области, а на формальном представлении вероятностей состояний систем в преобразовании Лапласа, то есть в комплексном виде.

Корректность модели подтверждается правильностью записи «комплексных вероятностей состояний» на отдельных подграфах состояний системы, выполнением условия нормирования полной суммы этих показателей.

Даются рекомендации расчета частных показателей качества систем. Предлагается учитывать в модели обслуживания различного вида временные задержки, случайные или детерминированные. Делается замечание о возможности учета в модели систем достоверности контроля состояний. Утверждается о применимости модели в системах с наборами различных распределений времени между заявками и времени обслуживания. В то же время применимость модели для многоканальных систем требует дальнейшего исследования.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сигалов Г.Г. Влияние параметров надежности на эффективность локальной вычислительной сети с радиальной структурой / Г.Г. Сигалов, Г.В. Николаева, А.М. Люперсольский // Автоматика и вычислительная техника, 1985. — № 4, с. 35–42.
2. Горов Г.В. Диффузионно-скачкообразная аппроксимация в однолинейных системах с прерыванием обслуживания и переменном режиме поступления заявок / Г.В. Горов, Я.А. Коган, Н.В. Парадизов // Автоматика и телемеханика, 1985. — № 6, с. 44–51.
3. Алимов Д. Одноканальные системы с очередью в случае переменных интенсивностей поступления и обслуживания требований / Дис. канд. физ. - мат. наук. — Киев, 1980.
4. Бубнов В.П. О загрузке вычислительной системы с изменяющейся интенсивностью поступления заданий / В.П. Бубнов, В.И. Сафонов, В.А. Смагин // Автоматика и вычислительная техника, 1987. — № 6, с. 19–22.
5. Бубнов В.П. Разработка динамических моделей нестационарных систем обслуживания / В.П. Бубнов, В.И. Сафонов. — СПб.: изд. «Лань», 1999.
6. Smagin V.A. Complex Delta Function and Its Information Application. — ISSN 0146–4116, Automatic Control and Computer Sciences, 2014, Vol. 48, No. 1, pp. 10–16. © Allerton Press, Inc., 2014.
7. Смагин В.А. О моделировании случайных процессов на основе гипердельтового распределения / В.А. Смагин, Г.В. Филимоныхин // Автоматика и вычислительная техника, 1990. — № 5. — с. 25–31.

*Г.В. Сызранцев*

доктор военных наук, ОАО «СУПЕРТЕЛ»

*А.П. Неверов*

Управление ВДВ ВС РФ

*О.Г. Сызранцева*

УССИ ФСО России С-3 ФО

## **РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ПЕРВИЧНОЙ СЕТИ СВЯЗИ, ПОСТРОЕННОЙ НА МУЛЬТИПЛЕКСОРАХ ТЕХНОЛОГИИ NGPDN**

**АННОТАЦИЯ.** В статье представлены результаты сравнительных испытаний однотипной аппаратуры связи, отличающихся степенью автоматизации системы сетевого технологического управления.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** система сетевого технологического управления, сетевой элемент, шлюзовой элемент, первичная сеть связи, сеть связи общего пользования, трасса связи.

Технология NGPDN, разработанная сотрудниками ОАО «НТЦ ВСП «Супертел ДАЛС», реализована в первичных мультиплексорах МП-АС.

Испытания сети связи, построенной на этих мультиплексорах проведены в сравнении с функционированием аналогичной по структуре первичной сети связи (ПСС), построенной на мультиплексорах, установленных в аппаратных комплексах П-260.

Существенное отличие в функционировании рассматриваемых вариантов технической реализации структуры ПСС заключается в том, что при построении сети на основе аппаратных комплексов П-260, конфигурирование и переконфигурирование сети, прокладка трасс связей и их раскоммутация при снятии связей, переключение на резервные трассы связей, определение номеров задействованных линейных интерфейсов осуществляется вручную по команде, или с момента времени, когда оператору связи стало известно о возможности таких действий.

При использовании МП-АС, указанные функции осуществляются автоматически с момента определения и регистрации в сети сетевого элемента.

В ходе испытаний были оценены показатели качества функционирования ПСС различных вариантов технической реализации. Это: время конфигурирования ( $T_{\text{конф}}$ ) и переконфигурирования сети связи ( $T_{\text{изм конф}}$ ); продолжительность принятия решения на проключение трасс связи к вновь подключившемуся сетевому элементу и их проключение ( $T_{\text{пр тр}}$ ); продолжительность принятия решения о переключении на резервную трассу связи и само переключение ( $T_{\text{рез тр}}$ ); продолжительность принятия решения на раскоммутацию трасс связи, ранее проключенных в интересах отключившегося сетевого элемента и раскоммутация ( $T_{\text{раском}}$ ).

На базе аппаратных комплексов П-260 с подготовленным экипажем были проведены несколько экспериментов по определению продолжительности выполнения функции сетевого технологического управления — первоначальное конфигурирование первичной сети связи со структурой, представленной на рис. Испытания проводились при наличии уже созданного шлюзового элемента сети (сервера) СЭ 22. При этом были получены следующие результаты: продолжительность конфигурирования сети составила от 45 до 68 мин; при переконфигурации сети

в среднем на каждую трассу (снятие и прописка новой) требовалось около 1,5 мин; продолжительность проключения и загрузки трассы связи в среднем составила около 1 мин; переключение на резервную трассу по продолжительности составило около 2 мин; продолжительность раскоммутации трасс связи, ранее проключенных в интересах отключившегося сетевого элемента составила до 30 с.

В реальных условиях к указанным продолжительностям необходимо добавить продолжительность выполнения функций оперативного управления должностными лицами системы управления связью, которые трудно поддаются анализу и зависят от многих факторов.

Для оценки качества функционирования ПСС из функций оперативного управления связью должностными лицами системы управления связью особый интерес по своей важности и «весу» представляют показатели технологической составляющей, а именно: функция сбора, обработки, передачи и прохождения информации об объектах системы (сети) связи и иной информации в системе управления связью [1].

Продолжительность обработки сообщений об объектах связи в час наибольшей нагрузки определяется с учетом работы должностных лиц по связи с другой оперативно-тактической информацией. Анализ [2–4] дают основание утверждать, что работа с информацией об объектах связи составляет 57–65 % от общего времени. Остальные 35–43 % времени должностные лица по связи затрачивают на работу с информацией

управления и другими видами оперативно-тактической информации.

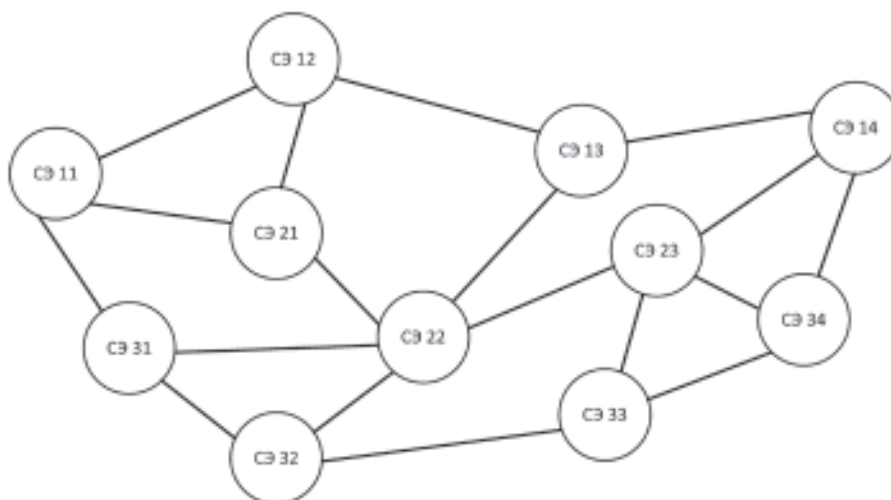
Требования по продолжительности выполнения основных функций оперативного управления связью обоснованы в [1]. Следует отметить, что при реальных испытаниях численные значения требований к оперативности управления связью превышались в разы (от 5 до 28).

Показатели оперативности сетевого технологического управления первичной сетью связи, построенной на аппаратных комплексах П-260, представлены в табл. 1. Через дробь в таблице указаны значения показателей с учетом эргономических параметров.

Значения по первому варианту предусматривают значения показателей на выполнение одной функции, например: конфигурирование одного СЭ, проключение трассы одной связи и т. д. По второму варианту — шести функций. Третий вариант характеризует показатели оперативности управления связью при наличии в ПСС 40 СЭ и количестве связей не менее 90.

На следующем этапе испытаний были оценены численные значения показателей функционирования и сетевого технологического управления автоматической ПСС на мультиплексорах МП-АС.

В [5] представлены три варианта реализации канала сетевого технологического управления. Для получения сравнительных характеристик технической реализации структур ПСС применен первый вариант реализации сетевого технологического управления — самый медленный.



Вариант построения первичной сети связи



Таблица 1

**Результаты испытаний оперативности сетевого технологического управления**

Показатель	Численные значения по вариантам		
	1	2	3
$T_{\text{конф}}$	более 6 часов		
$T_{\text{изм конф}}$	5/9–13,2 мин	6/10–14 мин	6/10–14 мин
$T_{\text{пр тр}}$	1,5/5,5–9 мин	2/6–9,6 мин	2,5/6,5–10 мин
$T_{\text{рез тр}}$	1,5/5,5–9 мин	2/6–9,6 мин	2,5/6,5–10 мин
$T_{\text{раском}}$	10–15 с/4,15–7 мин	30 с/5–8,5 мин	30 с/5–8,5 мин

При управлении по битам национального использования (с 4 по 8 биты нечетного кадра нулевого тайм-слота) максимальная скорость сетевого технологического управления может быть достигнута — 20 кбит/с. Для исследований принят наихудший вариант — 4 кбит/с.

Исходя из такого быстродействия канала сетевого технологического управления, определяются численные значения временных показателей по обнаружению и внесению соответствующих значений в базу данных сервера.

Необходимо отметить, что обнаружение может осуществляться по событиям (пропадание сигнала «los» на линейном интерфейсе) и по данным периодического опроса всех зарегистрированных в предыдущей итерации сетевых элементов и их линейных интерфейсов.

Расчеты проводились при ведении периодического опроса (как более медленный вариант регистрации изменений в ПСС). Результаты расчетов сведены в табл. 2. Через дробь в таблице

представлены данные натурных испытаний макетов мультиплексоров, реализующих технологию NGPDH, при наличии уже созданного шлюзового элемента сети.

Значение продолжительности конфигурирования ПСС даны для наиболее сложного варианта. Все 40 сетевых элементов между собой уже соединены, и только затем подключаются к шлюзовому элементу. Для усреднения значений принято ограничение, что все СЭ подключены через два переприема сигналов сетевого технологического управления. При более точном построении системы связи, состоящей из 40 СЭ, 9 из которых задействованы в построении сети связи общего пользования (опорной сети связи), продолжительность конфигурирования сети связи составляет 376 с (6 мин 16 с). В частности, для конфигурирования сети связи, представленной на рис. необходимо 144 с (2 мин 24 с).

В качестве дополнения следует указать, что при построении сети на основе аппаратных

Таблица 2

**Результаты испытаний оперативности сетевого технологического управления сетью связи, построенной на мультиплексорах технологии NGPDH**

Показатель	Максимальные численные значения по вариантам (с)		
	1	2	3
$T_{\text{конф}}$	397,8 (6,63 мин)		
$T_{\text{изм конф}}$	6,2/6–6,4	6,2–10,2/6–10,5	6,2–12,2/6–12,8
$T_{\text{пр тр}}$	4,2/4–4,4	4,2–8,2/4–8,6	4,2–12,2/4–13,0
$T_{\text{рез тр}}$	4,2/4–4,4	10,2–16,2/10–17,6	6,2–24,4/6–19,2
$T_{\text{раском}}$	4,2/4–4,4	4,2–8,2/4–8,6	4,2–14,2/4–15,4

П-260 кабелирование необходимо осуществлять в строгом соответствии с первоначальной конфигурацией, выполненной оператором связи при планировании. В противном случае ПСС функционировать не будет. А при построении ПСС на основе мультиплексов МП-АС (тех-

нологии NGPDH) допустимо произвольное подключение линейных интерфейсов. Определение и регистрация задействованных линейных интерфейсов — это одна из функций сетевого технологического управления технологии NGPDH, реализуемых в автоматическом режиме.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Сызранцев Г.В.** Теоретические и научно-методические основы обеспечения построения сложных организационно-технических систем военной связи в локальных войнах и вооруженных конфликтах.: Монография. / Под ред. профессора А.Г. Ермишиана. СПб.: ВАС, 2007. 180 с.

2. **Дудник Б.Я., Овчаренко В.Ф., Орлов В.К. и др.** Надежность и живучесть систем связи. М.: Радио и связь, 1984. 216 с.

3. **Лукьянов В.И.** Опыт организации связи ограниченного контингента советских войск в Афгани-

стане: Уроки и выводы. Дис. ... канд. воен. наук. СПб.: ВАС, 1997. 240 с.

4. **Лукьянов В.И.** Особенности организации связи в операциях (боевых действиях), проводимых в особых условиях. СПб.: ВАС, 1995. 56 с.

5. **Сызранцев Г.В., Лукин К.И.** Отечественные разработки для построения автоматических первичных сетей связи на технологии NGPDH. Научно-технический журнал «Системы и средства связи, телевидения и радиовещания». Вып. 1, 2. М.: Изд. ООО «ЭКОС». 2012. С. 54–61.

*Г.В. Сызранцев*

доктор военных наук, МТУСИ

*Г.В. Иншин*

ОАО «СУПЕРТЕЛ»

*А.В. Безуглый*

ОАО «НИИССУ»

## **ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПО АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ СЕТЕВОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМОЙ (СЕТЬЮ) СВЯЗИ**

**АННОТАЦИЯ.** В статье рассмотрены варианты технических решений по автоматизации процессов сетевого технологического управления в сетях связи, построенных на оборудовании технологии PDH. Представлена технология NGPDH и описаны принципы работы предложенных вариантов технических решений.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** система (сеть) связи, технология NGPDH, система сетевого технологического управления, выделенный канал управления, маршрутизатор системы сетевого технологического управления.

Анализ ряда работ о построении современных полевых (высокодинамичных) систем связи, в том числе посвященных системам и сетям связи, построенным в локальных войнах и вооруженных конфликтах современности [1–4], подтверждает требования, предъявляемые к системам связи специального назначения, например: устойчивости, доступности, мобильности и управляемости, в частности, по продолжительности переключения на резервные каналы связи. Необходимо отметить, что ни одним отечественным и зарубежным производителем не реализована функция автоматического резервирования основных каналов связи. Причина этого состоит не в технических сложностях реализации данной функции, а в нежелании тратить финансовые средства производителями телекоммуникационного оборудования на невостребованные в мирное время в системах связи общего назначения (сетях связи общего пользования) возможности.

На имеющейся и выпускаемой технике выполнить требования, предъявляемые к системе связи, возможно только на основе построения систем (сетей) связи с многократной избыточ-

ностью по пропускной способности и связности, что влечет значительные финансовые затраты и громоздкость построенных систем связи. В ряде работ рассмотрены варианты построения систем связи, обеспечивающие выполнение некоторых отдельных требований к системе связи, при этом другие требования либо не рассматриваются, либо отнесены в разряд ограничений. Однако системы связи, построенные по такому принципу, обладают необоснованной избыточностью и, как следствие, влекут за собой значительные ресурсные затраты, которые могут быть реализованы за счет уменьшения штатного резерва сил и средств связи или полного его использования до начала основных оперативных (тактических) действий военного характера и (или) чрезвычайных ситуациях, ликвидации последствий техногенных катастроф или стихийных бедствий на ограниченных территориях, не оборудованных в отношении связи или приведенных в такое состояние в результате целенаправленного деструктивного воздействия или катастроф, стихийных бедствий. Современные военные или иные действия, требующие немед-

ленной реакции, характеризуются быстрым изменением оперативной (тактической) обстановки, изменением направлений, характера и собственно районов ведения этих действий. Все это не позволяет использовать частично развернутые объемные сети, а доразвертывание объемной сети в конкретном районе по временным затратам превышает значения требований по мобильности.

В ряде работ [5–8] показано, что для построения высокодинамичных систем связи классическая технология PDH не может быть применена по причине низкой управляемости и мобильности развертываемых систем связи. Этот вывод подтвержден и в ходе войсковых учений МО и ВВ МВД РФ и на испытательных стендах ОАО «НИИССУ» и ОАО «НТЦ ВСП «Супертел ДАЛС» (2011–2014 г.г.).

Сети связи, построенные на технологии PDH, не обладают требуемой управляемостью, поскольку весь цикл технологического управления основан на ручном управлении. Изначально аппаратура данной технологии разрабатывалась в интересах построения статических сетей связи общего назначения, и, как следствие, встроенные каналы управления имели низкие показатели пропускной способности. Именно этот недостаток не позволяет строить автоматические (автоматизированные) системы технологического управления.

В телекоммуникационном оборудовании типовой технологии PDH порядок функционирования системы технологического управления, заключается в том, что в дополнение к установленной на сервере программе управления сетевым оборудованием (выпускаемой производителем оборудования), пользователь в ручном режиме формирует базу данных о конкретной, создаваемой именно для этой системы оперативного управления, системе (сети) связи, прописывая сетевые элементы (СЭ) и связи между ними. Набор связей (в ручном режиме) возможен только после того, как в систему технологического управления будет введена структура системы (сети) связи. Система сетевого технологического управления (СТУ) на основе встроенных логических моделей СЭ проводит поиск маршрутов. При нахождении нескольких трасс они выводятся на монитор. Оператор, вручную выбирает трассу, которая, по его мнению, явля-

ется наиболее подходящей, и сохраняет ее в базе данных системы. Далее оператор проводит загрузку трассы, на основании которой система СТУ преобразует параметры трассы в конкретные значения (сигналы, команды), описанные в интерфейсе взаимодействия с учетом типа СЭ, типа трассы (с защитой или без, ethernet, вещание, конференция), и последовательно передает их в соответствующие СЭ. После окончания передачи данных о коммутации трасса переводится в рабочее состояние.

Система СТУ телекоммуникационного оборудования, описанного в [3, 9, 10], базируется на передаче служебной информации по битам национального использования. При этом максимальная скорость передачи служебной информации равна 20 кБит/с.

С учетом скорости функционирования канала СТУ и необходимого объема передаваемой информации, вариант технологического управления по битам национального использования системой связи рационально применять при развертывании малых по емкости систем (сетей) связи, до 20 СЭ, при средней интенсивности изменения структуры системы (сети) связи или информационных направлений (до 15 изменений в час).

При меньшем значении интенсивности переконфигурации системы (сети) связи ее состав может быть большим (до 40 элементов) и наоборот.

Как показывает практика этой скорости канала СТУ для гарантированного выполнения требований со стороны системы управления силовых министерств и ведомств не достаточно.

Для автоматизации процессов СТУ и решения дополнительных, не реализованных в системах с ручным управлением задач, по каналам СТУ необходимо передавать значительное количество сигналов сигнализации, управления, взаимодействия (СУВ) и ответы на них. Кроме этих сигналов, СЭ должны обмениваться служебной информацией об изменении структуры системы связи и сигналами телеметрии. В результате значительного увеличения объема передаваемой информации возможны ситуации, при которых показатели управляемости системы связи будут ниже требуемых. Увеличение скорости передачи служебных сигналов возможно несколькими способами: увеличение скорости на

основе переработки действующего (используемого в выпускаемой аппаратуре связи) канала технологического управления; управление по выделенному каналу в системе связи; занятие под передачу сигналов взаимодействия и управления одного или нескольких канальных интервалов линейных потоков E1.

Первый способ требует значительной переработки встроенного программного обеспечения и аппаратной реализации канала СТУ, что в итоге позволит поднять скорость передачи сигналов СУВ в 1,5–4 раза по отношению к реализованной в настоящее время.

Второй способ при построении систем связи с высоким коэффициентом связности трудно реализуем, поскольку на линиях связи с пропускной способностью в 2048 Кбит/с в качестве выделенного канала управления необходимо будет иметь еще один такой канал, а это увеличение задействованного оборудования в 2 раза. Указанный способ может быть применен в системах связи, где канал управления будет занимать от основного объема пропускной способности 5–10 % и не требовать дополнительного оборудования связи.

Третий способ является наиболее приемлемым, поскольку, как показали результаты анализа [11], в создаваемых полевых системах связи силовых структур потоки E1 загружены на 15–30 %. Исключение составляют направления связи между основными пунктами управления, на которых развертывается несколько потоков E1. Выделение даже одного канального интервала для передачи сигналов СУВ позволяет увеличить скорость их передачи до 25 раз.

При организации системы СТУ по выделенным канальным интервалам потоков E1 необходимо решение задачи маршрутизации пакетов с информацией управления от сервера (АРМ управления) через блок контроля и управления шлюзового сетевого элемента.

Маршрутизатор системы СТУ каждого СЭ имеет доступ по внутренней шине к любому канальному интервалу и может быть скомутирован на один или несколько (задается программно) канальных интервалов любого или всех линейных интерфейсов E1.

Таблица маршрутизации загружается и корректируется в процессе функционирования системы связи из базы данных системы СТУ. При-

менение сетевого маршрутизатора обеспечивает технологическое управление системой (сетью) связи со скоростью кратной 64 кБит/с.

Следует отметить, что техническая реализация маршрутизатора системы СТУ осуществляется на уровне L2. При этом маршрутизатор реализует функции уровня L3. Такое (значительное) упрощение технической реализации возможно на основе того, что маршрутизатор является частью оборудования мультиплексора технологии NGPDH. Это позволяет маршрутизатору использовать адрес мультиплексора как свой, а внутренняя коммутация с каждым линейным выходом, блоком технологического управления оборудованием и через него с системой СТУ обеспечивает своевременную доставку данных о составе и связности системы связи, на основе которой маршрутизатор формирует динамически изменяемую таблицу маршрутизации.

Разработанное телекоммуникационное оборудование прошло испытания в ходе СКШУ «Кавказ-2012», на испытательном стенде НИИ систем связи и управления и ряде других войсковых учениях. По результатам испытаний составлены компетентными комиссиями акты. Ключевой фразой в выводах является то, что «...все заявленные функции выполнены в полном объеме».

При организации полевых систем связи на телекоммуникационном оборудовании, реализующем предлагаемую систему СТУ, имеется возможность построения автоматических первичных сетей связи гарантированно выполняющих требования по управляемости, мобильности, устойчивости и пропускной способности.

Аналогичный подход может быть реализован и к телекоммуникационному оборудованию технологии NGSDH, но это уже другие направления исследований, которые являются перспективными для авторов представленных в этой статье результатов исследований и создания современного телекоммуникационного оборудования для высокодинамичных автоматизированных систем (автоматических сетей) связи специального назначения.

На оборудование разработанной технологии NGPDH и NGSDH (сети PDH нового поколения) получены патенты [12, 13].



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Сызранцев Г. В., Лукин К.И., Иншин Г.В., Даниленко А.Н.** Модель функционирования автоматической сети связи общего пользования полевой системы связи специального назначения. Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. М.: НТЦ «Информтехника» СПб.: Любавич, 2012. Вып. 1–2. С. 85–93.
2. **Г.В. Сызранцев, К.И. Лукин, Г.В. Иншин** Модель функционирования автоматической первичной сети связи высокодинамичной системы связи специального назначения. Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. М.: НТЦ «Информтехника» СПб.: Любавич, 2012. Вып. 11–12. С. 65–69.
3. **Сызранцев Г. В., Лукин К. И.** Отечественные разработки для построения автоматических первичных сетей связи на технологии NGPDH. Научно-технический журнал «Системы и средства связи, телевидения и радиовещания». Вып. 1, 2. М.: Изд. ООО «ЭКОС». 2012. С. 54–61.
4. **Ермишян А. Г., Сызранцев Г. В., Дыков В. В.** Теоретические и научно-практические основы построения систем связи в локальных войнах и вооруженных конфликтах. СПб.: ВАС, 2006. 220 с.
5. **Сызранцев Г. В., Шмелев А.А., Матвеев В.Н.** Проблемы построения сети связи общего пользования полевой системы связи военного назначения. Труды 13-й Всероссийской НПК РАРАН. Том 1. Вооружение и военная техника. СПб.: НПО СМ, 2010. (С. 494–496).
6. **Сызранцев Г. В., Мельников С. В., Лукин И. А.** Основные положения по построению автоматизированной полевой сети связи общего пользования. Труды 14-й Всероссийской НПК РАРАН. Том 1. Вооружение и военная техника. СПб.: НПО СМ, 2011. С. 661–663.
7. **Сызранцев Г. В., Мельников С. В., Лукин И. А., Шмелев А. А.** Концептуальные основы построения системы связи мобильных сил. Труды 14-й Всероссийской НПК РАРАН. Том 6. Вооружение и военная техника. СПб.: НПО СМ, 2011. С. 135–140.
8. **Сызранцев Г. В.** Управляемость системы связи. Известия РАРАН. Журнал. М.: Изд. РАРАН. Вып. 2 (72), 2012. С. 81–86.
9. **Сызранцев Г. В., Мельников С. В.** Унифицированное оборудование связи для построения высокодинамичных систем связи специального назначения. Тематический сборник «Связь в ВС РФ» с приложением на CD «Продукция для войск связи ВС РФ». М.: Изд. Информмост, 2012. С. 120–121.
10. **Сызранцев Г. В.** Отечественное телекоммуникационное оборудование для построения автоматизированных систем управления различного назначения. Тематический сборник «Связь в ВС РФ» с приложением на CD «Продукция для войск связи ВС РФ». М.: Изд. Информмост, 2013. С. 134–135.
11. **Сызранцев Г.В., Лукин К.И., Лебедев С.Ф., Иншин Г.В., Шмелев А.А.** К вопросу о построении высокодинамичной полевой системы связи объединения (соединения) на технологии ПЦИ. Труды 8-й Международной НПК «Технические средства противодействия террористическим и криминальным взрывам». СПб У ГПС МЧС России. Изд. РАРАН, 16–18 октября 2012 г. С. 385–392.
12. Патент на полезную модель «Автоматическая многоканальная первичная сеть связи». Сызранцев Г. В., Иншин Г. В., Лебедев С. Ф., Терентьев О.И. № 122538 от 20.6.2012.
13. Патент на полезную модель «Автоматическая первичная сеть связи на базе SDH» Сызранцев Г. В., Иншин Г. В., Лебедев С. Ф. Патент № 130471 от 12.02.2013.

*Г.В. Сызранцев*

доктор военных наук, МТУСИ

*А.А. Кретов*

ОАО «СУПЕРТЕЛ»

*А.Г. Сызранцев*

ФГБУ «Центр МИР ИТ»

## **ТЕХНИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ЗАМЕНЫ ФИЗИЧЕСКИХ КОНТАКТОВ НА ЭЛЕКТРОННЫЕ ПРИ ПОДКЛЮЧЕНИИ РАЗЛИЧНЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ К ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ ТЕХНОЛОГИИ SDN**

**АННОТАЦИЯ.** В статье описан способ повышения надежности функционирования вводно-комму-  
тационного оборудования при построении сетей связи, использующих оборудование технологий  
PDN и NGSDN. Представлены варианты технической реализации с описанием принципа работы.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** опорно-транспортная сеть связи, мультиплексор, телекоммуникационные  
технологии PDN и NGSDN, коммутационное оборудование, коммутатор, коммутационное поле.

Подключение коммутационного оборудова-  
ния на основных узлах связи требует коммутации  
большого количества источников информации  
и линейных выходов коммутационного оборудо-  
вания для включения их в соответствующие  
входы каналаобразующего оборудования транс-  
портной сети связи.

Рассмотрим реализацию подключения ком-  
мутатора технологии «Тетра» к опорно-транс-  
портной сети связи. В качестве условий следует  
отметить, что коммутатор полностью резервиро-  
ван аналогичным коммутатором, и имеются аль-  
тернативные (независимые) трассы связи между  
коммутатором и каждой базовой станцией.

На рис. 1 и 2 представлен вариант классиче-  
ской реализации подключения коммутатора  
к мультиплексору транспортной сети технологии  
NGSDN. Следует отметить, что аппаратуры ав-  
томатического резервирования (АР) потоков E1,  
работающей в единой системе управления транс-  
портной сетью нет. Имеются отдельные устрой-  
ства, выполняющие функции резервирования,  
которые автономно настраиваются и не имеют  
удаленного доступа для мониторинга и управле-  
ния режимами работы.

Из рис. не представляет труда подсчитать,  
что для подключения коммутатора к синхрон-  
ному мультиплексору транспортной сети требу-  
ется по семь «четверок» на каждый выход из  
84 выходов. В дополнение следует учесть, что  
между коммутатором и мультиплексором техно-  
логии PDN, осуществляющим демультиплекси-  
рование 24 потоков E1 на 84, коммутация этих  
потоков также выполняется на стойке ПСП  
(промежуточной стойке переключений). Общее  
количество коммутаций для реализации пред-  
ставленной схемы составляет 2400.

На рис. 3 представлен вариант технической  
реализации той же схемы коммутации на обо-  
рудовании ОАО «СУПЕРТЕЛ» мультиплексоре  
синхронного доступа (СМД) и оборудовании ав-  
томатического резервирования потоков E1 (АР).

Принцип работы следующий. На входы бло-  
ков оборудования PDN подаются 24 потока  
E1 от основного коммутатора и столько же от  
резервного.

С оборудования резервирования 24 потока  
E1 подаются на вход синхронного мультиплек-  
сора доступа на блоки технологии PDN.  
В мультиплексоре предусмотрено 7 посадочных

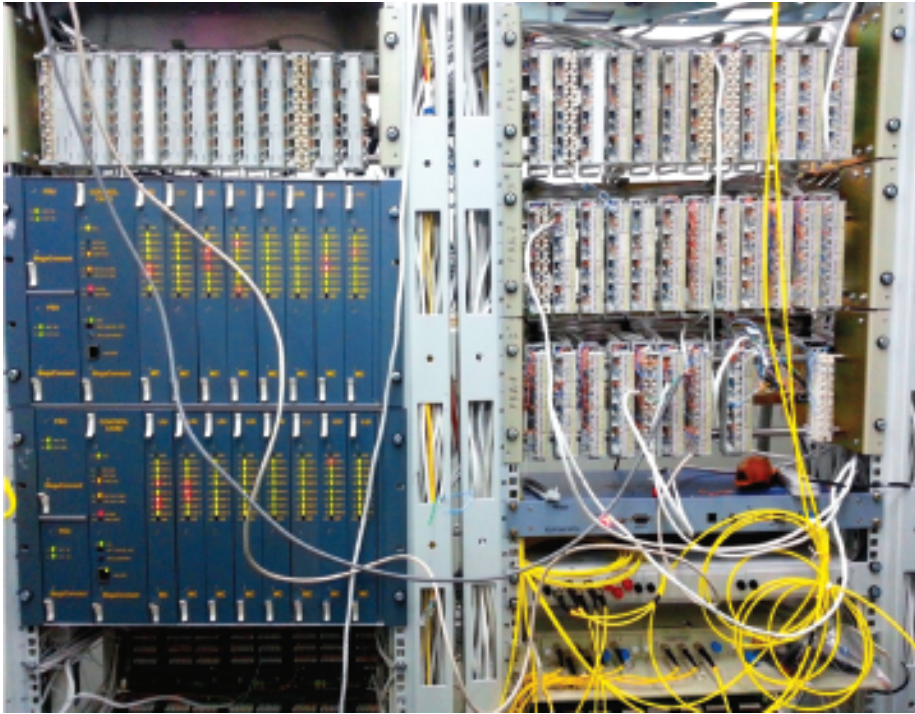


Рис. 1. Коммутационное поле выходов мультиплексоров «Орион» и резервных каналов

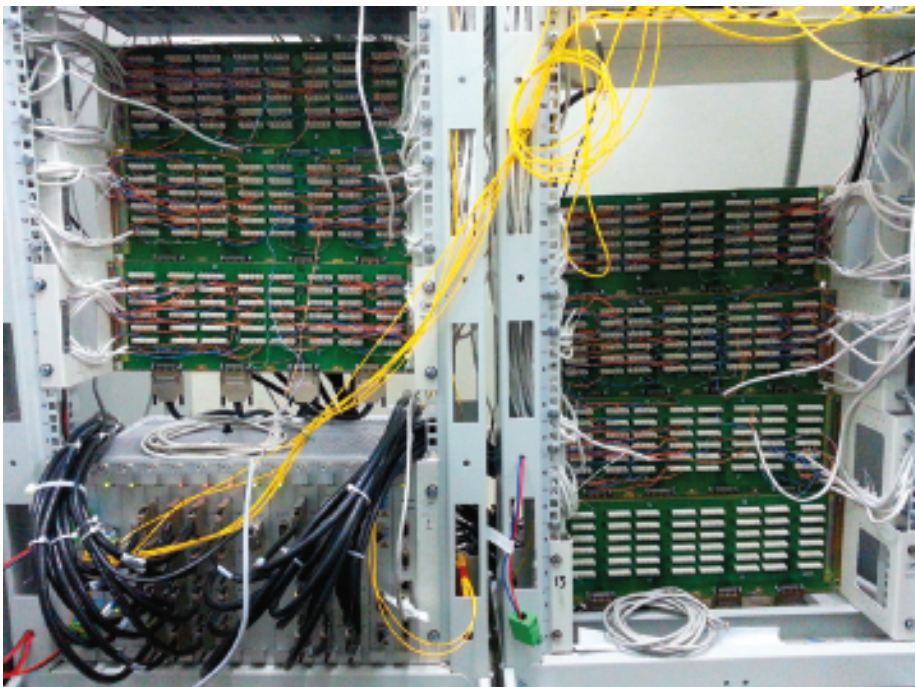


Рис. 2. Коммутационное поле блоков 63Е1

мест под линейные и абонентские блоки технологии PDH. Для приема 24 потоков E1 достаточно трех блоков 8E1.

Далее программно осуществляется демультиплексирование 24 потоков E1 в блоке КАД (коммутатор абонентского доступа) на 84 потока и через блок КС-СС (коммутации, синхронизации и служебной связи) коммутируются в режиме 1 + 1 с потоками E1 из блоков 21E1 (16E1, T/E1) в соответствующие потоки STM-1 или STM-4. Всего может быть образовано до 8 линейных потоков уровня STM-1 или 4 линейных потоков уровня STM-1 и 2 линей-

ных потоков уровня STM-4, или 4 линейных потоков уровня STM-4.

Имеется возможность использования аппаратуры автоматического резервирования потоков E1 и при реализации переключений в режиме 1 + 1 между трассами связи по опорно-транспортной сети и альтернативным (независимым) трассам связи (рис. 4).

На рис. 5 представлено техническое решение, реализованное на оборудовании ОАО «СУПЕРТЕЛ», после модернизации опорно-транспортной сети связи сети подвижной радиосвязи стандарта «Тетра».



Рис. 3. Аналог рисунков 1 и 2 на оборудовании ОАО «СУПЕРТЕЛ» мультиплексоре синхронного доступа (СМД)

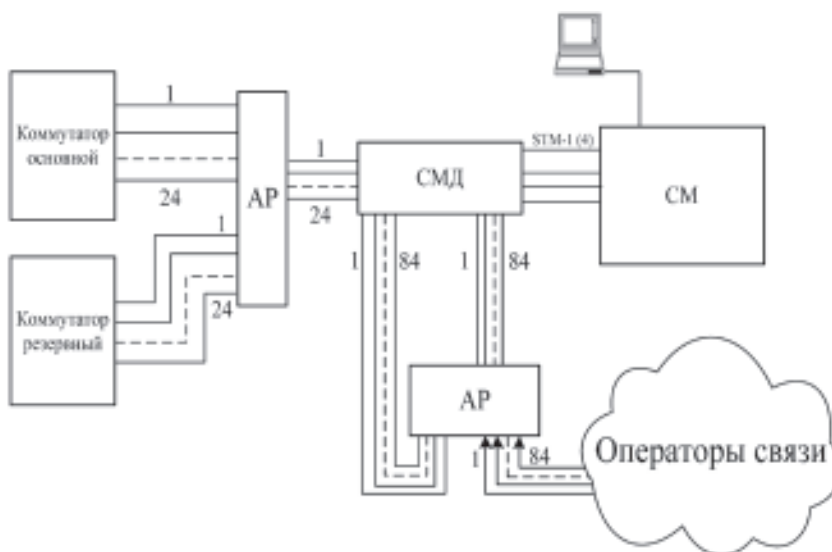


Рис. 4. Реализация автоматического резервирования потоков E1 на аппаратуре резервирования (АР)



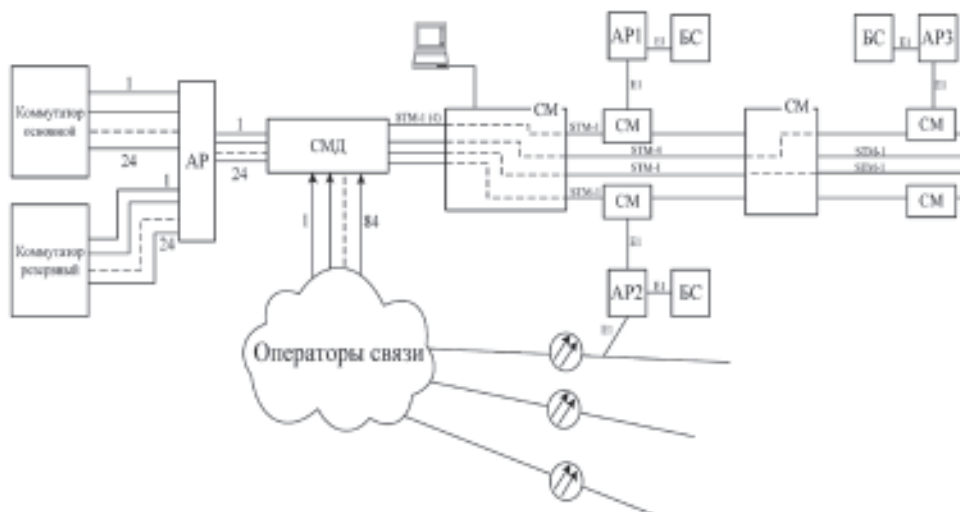


Рис. 5. Технические решения по резервированию основных потоков E1, реализованные на опорно-транспортной сети после модернизации сети

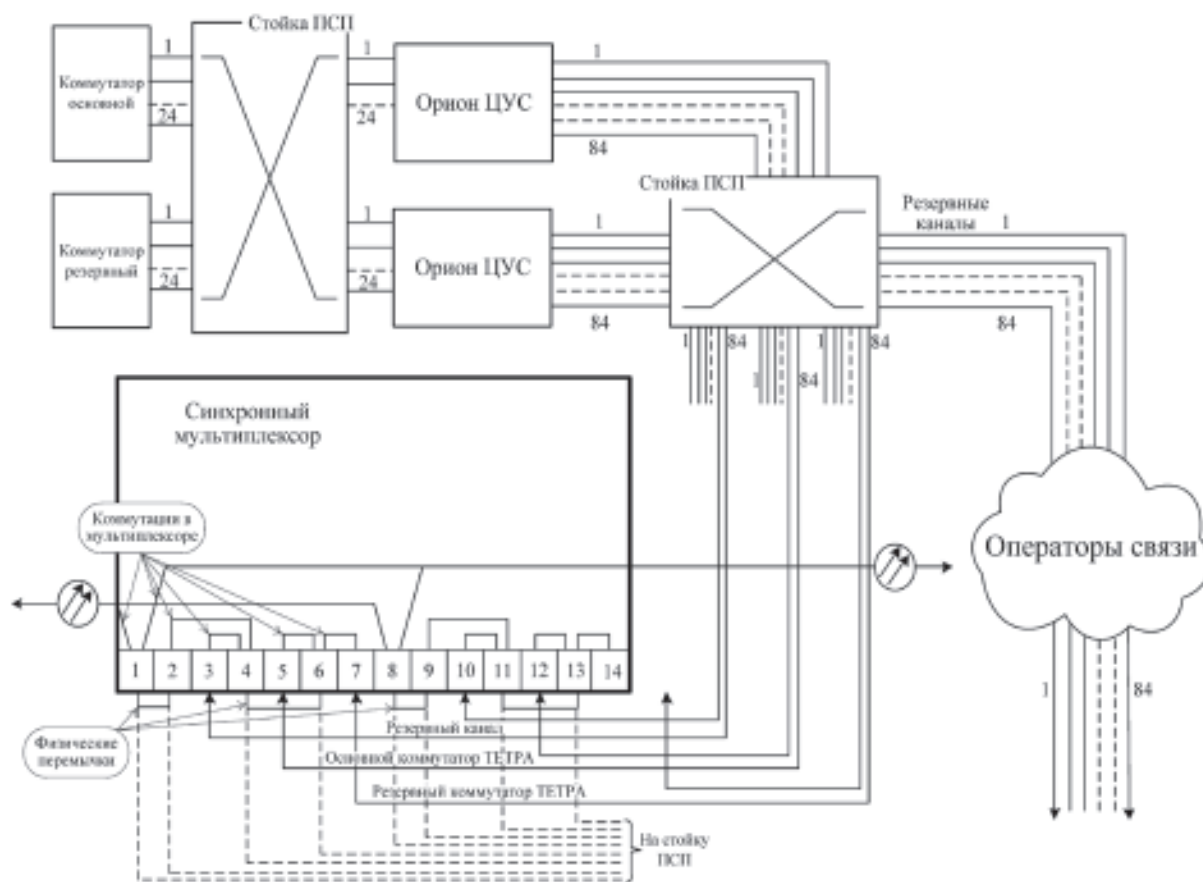


Рис. 6. Технические решения по резервированию основных потоков E1, реализованные на опорно-транспортной сети во время олимпийских игр



На рис. 6 представлено техническое решение, реализованное при построении сети подвижной радиосвязи на зимних Олимпийских и Паралимпийских Играх 2014 года в г. Сочи.

Расчеты, проведенные по различным вариантам технической реализации подключения коммутатора и базовых станций сети подвижной радиосвязи стандарта «Тетра» наглядно демонстрируют значительное повышение показателей устойчивости функционирования всей сети.

На отдельных направлениях связи показатели устойчивости функционирования улучшены до 20 % от начального значения.

Следует оговориться, что легитимные (апробированные, утвержденные, официальные) данные по степени повышения надежности комму-

тации при переходе от физической коммутации к электронной отсутствуют.

Расчеты были проведены исходя из известного методического обеспечения теории эффективности, данных по показателям технической надежности используемого оборудования, эксплуатационных показателей в ходе практического использования телекоммуникационного оборудования на сетях связи различного назначения, объема и топологии.

В качестве выводов следует отметить, что телекоммуникационное оборудование для сетей связи различного назначения должно иметь технические возможности по реализации функций вводно-коммутационного оборудования для повышения устойчивости функционирования всей системы (сети) связи.

*К.В. Ушанев*

Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского

## СНИЖЕНИЕ СТРУКТУРНОЙ СЛОЖНОСТИ ТРАФИКА В ЦЕЛЯХ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ОБСЛУЖИВАНИЯ

**АННОТАЦИЯ.** В статье изложена методика преобразования трафика сложной структуры (на примере трафика с Парето-распределением интервалов времени между поступлением пакетов) в трафик с экспоненциальным распределением интервалов времени между поступлением пакетов.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** коэффициент вариации, трафик сложной структуры, преобразование трафика.

В настоящее время в теории телетрафика, как правило, применяют модель пуассоновского потока [1]. Однако исследования [2] показали, что достаточно часто трафик не может быть адекватно описан моделью пуассоновского потока. Циркулирующему в системе связи трафику свойственны наличие группирования пакетов (длительных временных интервалов между поступлением пакетов), наличие сложной структуры [3]. Время обработки трафика сложной структуры в узлах маршрутизации и коммутации пакетов существенно повышается [3]. Исследования на реальном телекоммуникационном оборудовании показали, что в отдельных случаях наличие трафика сложной структуры увеличивает время его обработки в узлах коммутации в 1,5–2 раза, а также растет вероятность потери пакетов трафика. В свою очередь увеличение времени обработки трафика ведет к снижению качества обслуживания QoS (Quality of service) в системе связи.

Таким образом, формируется актуальная задача снижения структурной сложности трафика, повышения производительности и качества обслуживания сети.

Введем ряд понятий и определений:

— трафик — нагрузка, создаваемая потоком вызовов, сообщений, пакетов и сигналов, поступающих на средства связи;

— статистические характеристики трафика — математическое ожидание  $m_\tau$  распределения интервалов времени между поступлением пакетов трафика; среднее квадратическое отклонение распределения интервалов времени

между поступлением пакетов трафика  $\sigma_\tau$ , где  $\tau$  — временной интервал между соседними пакетами трафика [3];

— коэффициент вариации  $c_\tau = \sigma_\tau/m_\tau$  — дисперсионная характеристика трафика, определяющая его структурную сложность [3];

— трафик сложной структуры — трафик с коэффициентом вариации интервалов времени между пакетами  $c_\tau > 1$ .

В направлении снижения структурной сложности трафика ведутся исследования, в которых трафик прогнозируется методом подбора авторегрессионной модели ARIMA с минимальным числом параметров [4]. Оптимизация входных параметров телекоммуникационных систем, по критерию максимального обеспечения заданного качества обслуживания трафика предлагается в работе [5]. Методика преобразования трафика сложной структуры в трафик с экспоненциальным распределением с использованием оператора преобразования распределения трафика предложена в работе [6].

Наиболее адекватно позволяет описать трафик сложной структуры, циркулирующий в сети связи, модель трафика с распределением Парето [5].

Для решения актуальной задачи по снижению структурной сложности трафика, повышения производительности и качества обслуживания сети за основу взят подход из работы [6].

Целью настоящей работы является определение значений параметров оператора преобразования для решения задачи по снижению структурной сложности трафика в узловом ком-

мутационном оборудовании сети связи, а также выявить основные ограничения применимости методики работы [6], возникающие с учетом временных задержек при процессе преобразо-

вания трафика, а также возможности приложения предлагаемой методики по исследованию процессов функционирования многоканальных систем связи.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Крылов В.В., Самохвалова С.С.** Теория телетрафика и ее приложения. — СПб.: БВХ-Петербург. 2005. — 288 с.

2. **Шелухин О.И., Тенякишев А.М., Осин А.В.** Фрактальные процессы в телекоммуникациях. Монография / Под ред. О.И. Шелухина. — М.: Радиотехника. 2003. — 480 с.

3. **Бахарева Н.Ф.** Аппроксимативные методы и модели массового обслуживания для исследования компьютерных сетей. Диссертация доктор технических наук по спец. 05.13.15. — Пенза: Поволжский ГУТИ. 2011.

4. **Гребенников А.В., Крюков Ю.А., Черня-**

**гин Д.В.** Моделирование сетевого трафика и прогнозирование с помощью модели ARIMA // Системный анализ в науке и образовании. 2011. №1.

5. **Осин А.В.** Влияние самоподобности речевого трафика на качество обслуживания в телекоммуникационных сетях. Диссертация кандидат технических наук по спец. 05.12.13. — М.: МГУС. 2005.

6. **Линец Г.И., Фомин Л.А., Скоробогатов С.А.** Снижение влияния самоподобности трафика в пакетных сетях // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. 2008. № 11. С. 38–42.

*К.Ю. Цветков*

*В.Е. Федосеев*

*Е.С. Абазина*

Военно-космическая академия имени А.Ф.Можайского

## **ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМ ОРТОГОНАЛЬНЫХ СИГНАЛОВ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ СКРЫТОГО КАНАЛА ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ С КОДОВЫМ УПЛОТНЕНИЕМ В СТРУКТУРЕ**

**АННОТАЦИЯ.** В статье предлагается новый метод формирования скрытого канала с кодовым уплотнением на уровне спектральной плоскости видеоданных с устранением избыточности в соответствии со стандартами JPEG, MPEG-2.

**Ключевые слова:** встраивание данных в видеоданные, скрытые каналы, стеганография, системы ортогональных сигналов Франка–Уолша, Франка-Крестенсона.

Вопросы формирования скрытых каналов передачи информации относятся к области стеганографии. Анализ существующих стегопрограмм, описанных в известной литературе [1, 2], показал, что наиболее популярным типом мультимедийных файлов, используемых в качестве стегоконтейнеров, являются файлы изображений и видео форматов JPEG и MPEG-2 соответственно. Однако среди представленных в [1, 2] программных реализаций стеганографических методов нет тех, которые бы позволяли вести скрытый обмен между несколькими абонентами одновременно. Таким образом, заявляемый оригинальный метод формирования скрытого канала с кодовым уплотнением в структуре сжимаемых видеоданных является новым. Метод предполагает изменение коэффициентов подходящих кадров изображения, полученных после проведения процедур дискретно-косинусного преобразования (ДКП), квантования и представления в двоичном виде. Замена подвергаются биты со второго по шестой, считая от наименее значащего. Основу скрытого обмена составляет использование широкополосных двумерных нелинейных ортогональных сигналов, модулированных сообщениями пар абонентов, участвующих в скрытом обмене. Подробное

описание предлагаемого метода представлено в работах [3, 4]. Оценивание качества встраивания заявляемым способом осуществляется по выбранному показателю среднеквадратичного отклонения (СКО) [1, 2]:

В работе [5] было доказано, что на периодах  $N = ns$ ,  $n \geq 2$ ,  $s \geq 1$  существует дискретный базис Виленкина-Крестенсона (В-К), который является обобщением базиса Фурье (случай  $s = 1$ ) и базиса Уолша (случай  $n = 2$ ), естественным оператором сдвига для базиса В-К является  $n$ -ичный сдвиг. Обобщение понятий и определений теории сложных дискретных сигналов, устоявшихся в базисе Фурье, для базиса В-К позволило построить ансамбли дельта- $n$ -коррелированных сигналов с основанием  $n = 2$  (двумерные сигналы Франка-Уолша) и  $n > 2$  (двумерные сигналы Франка-Крестенсона). Исследования структуры и свойств сигналов Ф-У и Ф-К, представленных в работе [5], свидетельствуют, что для этих сигналов характерны следующие особенности: ансамбли двумерных сигналов Ф-У (Ф-К) ортогональны, что позволяет использовать их для передачи информации с кодовым множественным доступом; блочная структура двумерных сигналов Ф-У (Ф-К) согласована с алгоритмами сжатия видео и изо-

бражений MPEG, JPEG соответственно; в спектре отсутствуют нулевые составляющие, максимально приближая структуру сигналов Ф-У (Ф-К) к структуре белого шума.

Близость структуры сигнала к шумоподобному оценивается коэффициентом дельтакорреляции  $\gamma$ , значения которого для различных ШПС представлены в табл. 1. Наименьшее значение, которое может принимать  $\gamma$ , равно 1 и соответствует максимально похожему на белый шум сигналу. Математическое моделирование показало, что сигналы необходимо согласовывать с видом проводимого над ними преобразо-

вания в выбранном базисе. Полученные результаты позволяют сделать вывод об оптимальности двумерных нелинейных сигналов Ф-У (Ф-К) по коэффициенту дельтакорреляции.

Для оценки помехоустойчивости дельтакоррелированных сигналов в сравнении с другими системами ортогональных сигналов было проведено математическое моделирование. Сравнению подлежали следующие системы ортогональных сигналов, представленные на рис. 1: сигналы Ф-К (красная кривая рис. 1), сигналы Ф-У (синяя пунктирная кривая рис. 1), М-последовательность (зеленая кривая рис. 1),

Таблица 1

**Значения коэффициента исследуемых систем сигналов при разных ортогональных преобразованиях**

Сигналы	Орт.преобр				
	ДКП цикл	Уолша цикл	В-К Цикл	В-К n-сдвиг	Уолша диадный
Франка	1,45	19,2	5,1	5,4	18,7
М-последовательность	3,9	20,4	4,7	10,6	15,3
Фрака-Уолша	5,6	6,3	4,2	3,5	3,4
Франка-Крестенсона	5,3	4,8	5,4	2,75	8,6
Локально-оптимальные Тараненко	6,1	5,3	5,5	9,2	10,4
Редецимированные	11,2	9,1	10,3	7	10,9
Гордона-Милсона_Велча	12,7	9,4	9,4	8,9	11
Уолша	21,4	2,2	5,1	7,3	5,2
Двумерные Франка-Уолша	6,17	4,2	5,5	1,37	1
Двумерные Франка-Крестенсона	4,6	3,5	3,4	1	3,2

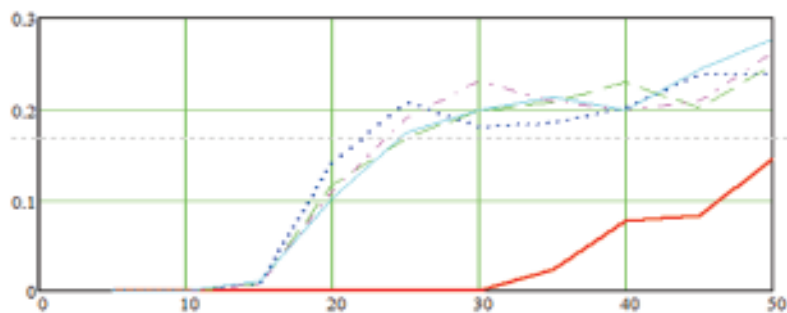


Рис. 1. Зависимости вероятности ошибки скрыто передаваемых данных от уровня шума, присутствующего в канале для выбранных систем сигналов



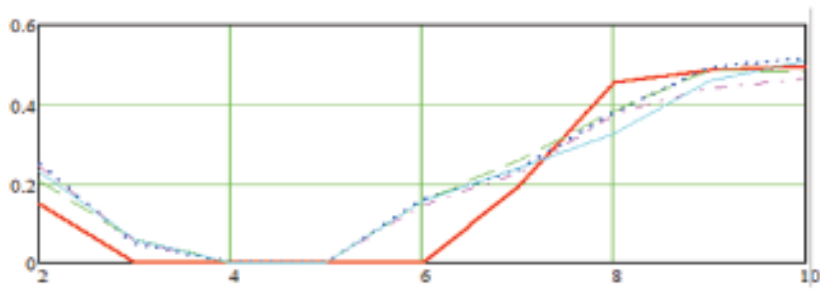


Рис. 2 – Зависимости вероятности ошибочного приема скрыто передаваемых данных для выбранных систем ортогональных сигналов от номеров бит коэффициентов ДКП, подвергаемых модификации встраиваемыми данными при уровне шумов в канале равном 9

сигналы Уолша, упорядоченные по Адамару (розовая штрихпунктирная кривая рис. 1), сигналы Уолша, упорядоченные по Пэли (голубая кривая рис. 1). На рис. 1 представлены зависимости вероятности ошибки скрыто передаваемой информации от уровня шума, присутствующего в телевизионном канале для выбранных систем сигналов. Хорошо видно, что при любом уровне шума наилучшие результаты показали ортогональные сигналы Франка-Крестенсена, для которых вероятность ошибочного приема не превышает 0,1 для уровня шума телевизионного канала до 47.

На рис. 2 представлены графики вероятности ошибочного приема данных, передаваемых по скрытому каналу с кодовым уплотнением, для выбранных систем ортогональных сигналов от номеров бит коэффициентов ДКП, подвергаемых модификации встраиваемыми данными при уровне шумов в канале равном 9. Проведенное моделирование свидетельствует о том, что для встраивания информации, требующей скрытой передачи, наиболее рационально выбирать пары бит, начиная с 4 по 5 — для всех видов рассматриваемых ортогональных сигналов. При использовании сигнальных конструкций Ф-К нулевая вероятность ошибочного приема наблюдается также при встраивании информации в третий и шестой биты, что позволяет увеличить скрытую пропускную способность стегоканала. Полученные результаты объясняются цельной блочной структурой матрицы сигнала Ф-К, описанной в [3–5].

Оценка изменения статистики видеоизображения после модификации скрыто передаваемой информацией осуществляется по среднеквадратичному отклонению (СКО). Полученные

значения СКО от качества изображения для описываемого метода встраивания с применением двумерных нелинейных сигналов Ф-У в паре с диадным сдвигом в базисе В-К (кривая 1), для описываемого метода встраивания с применением сигналов Уолша в паре с циклическим сдвигом в базисе Уолша (кривая 3), для метода встраивания по алгоритму OutGuess (кривая 2), представленные на рис. 9, позволяют считать метод формирования скрытого канала с кодовым уплотнением в структуре сжимаемых видеоданных на основе сигналов Ф-К стеганографически стойким, а двумерные нелинейные сигналы Ф-К — наилучшими для задачи стегообмена.

Таким образом, наиболее оптимальными сигнальными конструкциями при формировании скрытого канала с кодовым уплотнением в структуре сжимаемых видеоданных являются двумерные нелинейные сигналы Ф-К в паре с n-сдвигом в базисе В-К. Их основными особенностями

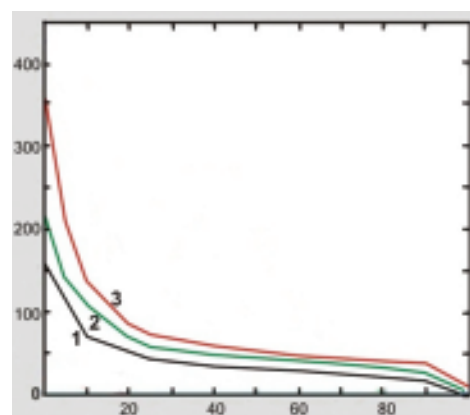


Рис. 3. Зависимость СКО от качества изображения

являются ортогональность формируемого ансамбля сигналов, блочность структуры сигналов и отсутствие в спектре нулевых составляющих. Благодаря этим свойствам обеспечивается мно-

жественный доступ к среде скрытого обмена, устойчивость скрытно встраиваемых данных к сжатию по стандартам MPEG, JPEG и стойкость к статическим методам стегоанализа.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Грибунин В.Г., Оков И.Н., Туринцев И.В. Цифровая стеганография. — М.: Солон-Пресс, 2002. — 272 с.

2. Аграновский А.В., Девянин П.Н., Хади Р.А., Черемушкин А.В. Основы компьютерной стеганографии. — Ростов-на-Дону: 2003. — 110 с.

3. Абазина Е. С. Алгоритмы внедрения двумерных нелинейных кодовых последовательностей в структуру сжатых видеоданных // Вопросы радиоэлектроники. Сер. Техника телевидения. 2013. №1. с. 85–94.

4. Абазина Е. С. Алгоритмы обработки широкополосных цифровых водяных знаков при организации стеганографического канала в структуре видеоданных // Труды Военной академии связи, Выпуск 79 — СПб: ВАС: 2013. — С.9–14.

5. Дискретный гармонический анализ и его приложения к задачам синтеза оптимальных сигналов: монография / К.Ю. Цветков, В.М. Коровин — СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2008. — 108 с.

*И.В. Щербань*

доктор технических наук, профессор

*С.А. Толмачев*

*С.О. Красников*

Южный Федеральный Университет (ЮФУ)

## МЕТОД РЕШЕНИЯ НАВИГАЦИОННОЙ ЗАДАЧИ НА ОСНОВЕ ПРОСТРАНСТВЕННО-ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ

**АННОТАЦИЯ.** В работе предлагается метод решения навигационной задачи для наземного транспортного средства (ТС) с интегрированной инерциально-спутниковой навигационной системой (ИИС НС). Метод базируется на пространственно-дифференциальном представлении движения ТС и может быть эффективным при использовании ИИС НС с грубой инерциальной бесплатформенной системой.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** интегрированная инерциально-спутниковая навигационная система, пространственно-дифференциальная фильтрация, наземное транспортное средство, линейная модель, грубая инерциальная бесплатформенная система.

### Введение

Высокая стоимость современных высокоточных инерциальных датчиков является основным препятствием использования их в навигационных системах транспортных средств (ТС). С появлением технологии микроэлектромеханических систем (MEMS) возникла возможность создавать бюджетные акселерометры и гироскопы, но, в свою очередь, данная технология не позволяет конструировать инерциальные навигационные системы, обладающие достаточной точностью для автономной навигации ТС. Поэтому навигационные системы ТС строятся на основе комплексирования разнородных навигационных систем, имеющих некоррелированные ошибки, в частности, приемной аппаратуры спутниковых навигационных систем (СНС) и бесплатформенных инерциальных навигационных систем (БИНС) на основе MEMS технологий. Подобная интеграция позволяет реализовать периодическую коррекцию накапливающихся с течением времени ошибок определений местоположения от БИНС по информации СНС.

В настоящее время существует огромное количество методов решения навигационной за-

дачи для ИИС НС. В то же время проблема эффективного использования разнородной измерительной информации в интегрированной инерциально-спутниковой навигационной системе (ИИС НС) с грубыми инерциальными датчиками по-прежнему остается актуальной.

Считается, что эффективными способами обеспечения заданной точности могут быть статически оптимальные дискретные фильтры, позволяющие по измерениям СНС непосредственно получать оценки для навигационных параметров объекта [1–4]. Но известно, что применительно к ИИС НС рассматриваемого типа, реализуемые фильтры имеют малые запасы устойчивости в силу специфики динамических возмущений и зашумленности измерений [3]. Это объясняется отсутствием на сегодняшний день адекватных математических моделей погрешностей MEMS-датчиков, возможных для использования в течение длительных временных интервалов эксплуатации ТС, а также отсутствием возможности проведения периодических калибровок этих датчиков. Проблемы устойчивости синтезируемых фильтров возникают вследствие применения процедуры последовательной двухэтапной линеаризации: вначале

линеаризации уравнений ошибок ИИС НС, а затем линеаризации модели корректирующих спутниковых измерений. Таким образом, двух-этапная линеаризация неизбежно приводит к появлению погрешностей, обусловленных утратой нелинейных взаимосвязей, особенно, в случае сильной зашумленности измерительной информации, что и приводит к расходимости синтезируемых фильтров [3]. Классический способ борьбы с расходимостью фильтра при помощи рестарта оценок координат и скорости по спутниковому решению для автотранспортной техники неприменим, так как всплески переходных процессов фильтров затрудняют анализ движения автомобиля с высокочастотной непрерывной оценкой фазовых переменных. Таким образом, применение традиционных методов оптимального оценивания навигационных параметров ТС на основе стохастической фильтрации в пространстве состояний в рассматриваемом случае не эффективно.

Поэтому, для решения сформулированной задачи выбран принципиально отличающийся подход к синтезу стохастического фильтра, основанный на пространственно-дифференциальной фильтрации. Данный подход возможен вследствие того, что ТС движутся по дорогам, которые можно рассматривать как одномерные пространственные многообразия с известными координатами, представленными в цифровых навигационных картах.

### Решение задачи

Известно, что объект в пространстве состояний описывается посредством дифференциальных уравнений с дифференцированием по времени. Но в рассматриваемом классе задач параметр времени, как избыточный, может быть исключен, а для описания эволюции навигационных параметров возможно использование дифференциальных уравнений пространственной топологии. Цифровая навигационная карта представляет собой базу координат точек POI (points of interest), а автомобильные трассы аппроксимируются линейными отрезками между соседними POI. Таким образом, произвольный  $k$ -й участок автомобильной трассы может быть задан следующими пространственно-дифференциальными уравнениями [5]:

$$\frac{\partial a_M(l)}{\partial l} = l \cos \beta_k;$$

$$\frac{\partial b_M(l)}{\partial l} = l \cos \beta_k,$$

где  $a_M(l)$ ,  $b_M(l)$  — декартовы координаты;  $l$  имеет смысл натурального параметра текущей длины одномерного многообразия, а  $\beta_k$  определяется по координатам соседних  $k-1$ -ой  $\{a_k; b_k\}$  и  $k$ -ой  $\{a_{k-1}; b_{k-1}\}$  POI как

$$\beta_k = \arctg \frac{a_k - a_{k-1}}{b_k - b_{k-1}}.$$

В векторной форме уравнение (1) имеет вид:

$$\frac{\partial Y_M(l)}{\partial l} = f(Y_M, l, a_M), \quad (2)$$

где  $Y_M = [a_M \ b_M]^T$  — модельный вектор состояния;  $f(Y_M, l, a_M)$  — известная векторная функция.

В уравнения наблюдения для интегрированных инерциально-спутниковых навигационных систем, как правило, входит функция от текущих декартовых координат  $\{a, b\}$  автомобиля:

$$Z(t) = h(Y, t) + \eta(t), \quad (3)$$

где  $Y = [a \ b]^T$  — восстановленный по измерениям вектор состояния;  $Z(t)$  — вектор выходных сигналов наблюдателя ( $Z \in R^q$ );  $h(Y, t)$  — заданная нелинейная вектор-функция;  $\eta(t)$  — вектор белого гауссовского шума с нулевым средним и матрицей интенсивностей  $D_\eta(t)$ ,  $t$  — независимая переменная — параметр времени.

Аналогичным образом зададим движение ТС вдоль одномерного многообразия (2) по измерениям (3) векторным стохастическим дифференциальным уравнением с параметрической неопределенностью [5]:

$$\frac{\partial Y(l)}{\partial l} = f(Y, l, \alpha) + \xi(l), \quad (4)$$

где  $f(Y, l, \alpha)$  — известная векторная функция с точностью до некоторого параметра  $\alpha$  с ядром, идентичным ядру из уравнений (2);  $\xi(l)$  — белый гауссовский шум с нулевым средним и известной матрицей интенсивностей.

Таким образом, вследствие линейного представления всей формы траектории по координатам POI, движение ТС описывается линейными функциями конструируемые фильтры, соответственно, являются линейными по определению. На основе уравнений (2) и (4) могут

быть синтезированы алгоритмы стохастической пространственной фильтрации [6], которые позволяют осуществить теоретически строгое апо-

стериорное оптимальное оценивание навигационного вектора по выбранному вероятностному критерию.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

**1. [Голован и др., 2010]** Голован А.А., Парусников Н.А. Математические основы навигационных систем. Ч. I. Математические модели инерциальной навигации / 2-е изд. М.: МГУ, 2010. 126 с.

**2. [Grewal et al., 2000]** Grewal M.S., Andrews A.P. Application of Kalman Filtering to GPS, INS, and Navigation (Notes), Kalman Filtering Consulting Associates. Anaheim, CA, 2000.

**3. [Демидов, 2009]** Демидов О.В. Задача тесной интеграции систем ГЛОНАСС и GPS с ИНС разных классов точности: Дисс. на соиск. степ. к.ф.-м.н. / О.В. Демидов. М.: МГУ, 2009. 139 с.

**4. [Морозов, 2009]** Морозов А. С. Анализ и синтез

алгоритма обработки информации в интегрированной инерциально-спутниковой навигационной системе наземного автотранспорта: Дисс. на соиск. степ. кандидата технических наук / А.С. Морозов. М.: Моск. акад. рынка труда и информац. технологий, 2009. 155 с.

**5. [Дубровин и др., 1986]** Дубровин Б.А., Новиков С.П., Фоменко А.Т. Современная геометрия. Методы и приложения. М.: Наука, 1986.

**6. [Хуторцев, 1994]** Хуторцев В. В. Пространственно-дифференциальная фильтрация Марковских процессов на одномерных стохастических многообразиях // Автоматика и телемеханика. № 8, 1994. С. 117–125.



*И.В. Щербань*

доктор технических наук, профессор

*Р.В. Быкадоров*

Южный Федеральный Университет (ЮФУ)

## МЕТОДИКА КАЛИБРОВКИ МИКРОЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ МАГНИТОМЕТРОВ

**АННОТАЦИЯ.** Представлена методика калибровки микроэлектромеханических магнитометров. Алгоритм создан с помощью программных и аппаратных средств с использованием языка программирования Delphi 7.0, решены задачи нормирования исходного сигнала.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** микроэлектромеханическая система, магнитометр, калибровка, программное обеспечение, аппаратное обеспечение.

### Введение

Микроэлектромеханические (МЭМС) датчики — это устройства, производимые по технологии, схожей с технологией производства обычных полупроводниковых элементов, что и обуславливает привлекательность их характеристик, например, низкие стоимость и энергопотребление, миниатюрность, простота использования и другие. В частности, к таким датчикам относятся микросхемы, содержащие гироскопы, акселерометры и магнетометры.

Основными недостатками МЭМС-датчиков являются сравнительно низкая точность, зашумленность выходного сигнала, а также принципиальная невозможность формирования точных моделей погрешностей. Последний факт обусловлен нестабильностью этих моделей, сильной зависимостью модельных параметров от внешних условий — от температуры, характеристик источника питания и т. п. факторов. Поэтому требуется периодическая коррекция моделей погрешностей МЭМС-датчиков в ходе их эксплуатации.

Соответственно, представляет интерес, разработанное программное обеспечение (ПО) для калибровки любого, от одноосного до трехосного, магнитометра микросхемы МЭМС. Двух- и трехосные магнитометры предназначены для измерения магнитного поля Земли по нескольким осям. Традиционно МЭМС микросхемы,

содержащие магнитометры, включают одновременно и акселерометры. Показания акселерометров в данном случае необходимы для нормирования выходных данных магнитометров.

### Методика калибровки МЭМС магнитометров

При калибровках используется наклонно-поворотный стол (НПС), предназначенный для задания пространственной ориентации измерительных осей магнитометров с точностью до 3 угл. мин относительно земных осей.

Вначале проводится нормировка выходных сигналов магнитных датчиков [1]. При этом измерительная ось каждого магнитометра поворачивается на  $360^\circ$  вокруг нормали к поверхности Земли в плоскости горизонта для определения максимума и минимума в потоке выходных данных. Выставка в плоскость горизонта осуществляется на основе показаний акселерометров этой же МЭМС микросхемы.

По широте места испытаний  $L$  рассчитывается угол магнитного наклона (УМН)

$$\lambda = \text{tg}^{-1}(2 \text{tg } L).$$

Нормирование производится по следующим соотношениям:

$$\bar{X}_{mc} = (X_{mc} - B_{iasx}) SF_x;$$

$$B_{iasx} = \frac{X_{\max} + X_{\min}}{2};$$

$$SF_x = \frac{2\cos\lambda}{X_{\max} - X_{\min}},$$

где  $X$  — координатная ось;  $X_{mc}$  — измеренная величина (выходной сигнал датчика);  $\bar{X}_{mc}$  — нормированная величина;  $X_{\max}$  и  $X_{\min}$  — измеренные максимальное и минимальное значение измеренной величины в горизонтальной плоскости, соответственно;  $B_{iasx}$  — напряжение смещения  $x$ -датчика;  $SF_x$  — масштабирующий множитель.

Вследствие влияния магнитного поля Земли измеренное значение УМН отличается от реального. Расширенный угол магнитного наклона (РУМН) определяется как

$$\lambda' = \operatorname{tg}^{-1} \left( -\frac{\bar{X}_{mc} \sin\theta \sin\varphi + \cos\theta \operatorname{tg}\psi + \bar{Y}_{mc} \cos\theta}{\sin\theta \cos\varphi \operatorname{tg}\psi - \sin\varphi} \right),$$

где  $\bar{Y}_{mc}$  — нормированная величина выходного сигнала ортогонального магнитометра, а углы крена  $\theta$  и наклона  $\varphi$  рассчитываются по выходным показаниям  $a_x$  акселерометра исследуемой микросхемы как

$$\theta = \sin^{-1} \left( \frac{a_x}{g} \right); \quad \varphi = \sin^{-1} \left( \frac{-a_x}{g \cos\theta} \right);$$

$g$  — точно рассчитываемое в месте испытаний земное ускорение;

$$\psi = \operatorname{tg}^{-1} \left( -\frac{\sin\lambda \sin\varphi + \bar{X}_{mc} \sin\theta \sin\varphi - \bar{Y}_{mc} \cos\theta}{\sin\lambda \sin\theta \cos\varphi + \bar{X}_{mc} \cos\varphi} \right).$$

При проведении калибровок может возникнуть следующая проблема [1]. Знаменатель урав-

нения для РУМН  $\lambda'$  равен нулю, если углы крена равны нулю. Кроме того, необходима величина азимута  $\psi$ . Проблема решается следующим образом. Двухосевой магнитометр может вычислять азимут точно на горизонтальной поверхности после нормирования при неизвестном УМН. Далее, магнитный компас поворачивается по направлению к оси  $x$  или  $y$  для определения значения азимута во избежание вырожденности.

По окончании расчетов полученные изменения MEMS-магнитометра сравниваются с заранее известными базовыми направлениями НПС и, таким образом, далее рассчитываются погрешности измерений датчика.

Программное обеспечение разработано в среде Delphi 7.0. При съеме измерений цифровые данные магнитометров переводятся в действительные угловые величины. Также обеспечивается запись данных в файлы данных и их последующая обработка в соответствии с вышеописанной методикой.

### Заключение

Проведены экспериментальные испытания MEMS-микросхемы L3G4200D, содержащей в своем составе три акселерометра и трехосный магнитометр. Динамический диапазон измерений магнитометра составляет, по каналам,  $\pm 250/\pm 500/\pm 2000$  градусов в секунду.

Результаты испытаний подтвердили работоспособность разработанной методики и возможность ее эффективного использования для калибровок МЭМС-магнитометров. Разработанное ПО может использоваться при калибровках МЭМС-магнитометров малогабаритных навигационных систем.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Seong Yun Cho.** A Calibration Technique for a Two-Axis Magnetic Compass in Telematics Devices // ETRI Journal, Vol. 27, № 3. June 2005. P. 280–288.

*О.Г. Щербань*

кандидат технических наук, доцент

*А.В. Еремеев*

Южный Федеральный Университет (ЮФУ)

## ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВОПРОСОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ЗВЕНЬЕВ, РЕАЛИЗОВАННОЕ СРЕДСТВАМИ LABVIEW

**АННОТАЦИЯ.** Реализовано программное обеспечение вопросов численного исследования частотных характеристик линейных объектов, заданных структурными схемами с известными передаточными функциями. Функционал разработанного программного продукта, ориентированного на использование как под 32-разрядные операционные системы (ОС), так и под 64-разрядные ОС, опционально соответствует известному ПО Classic версии 3. Доработаны вопросы сохранения файлов численных исследований и их последующего использования в иных программных средствах.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** программное обеспечение, структурная схема, передаточные функции, частотные характеристики, численные исследования.

### Введение

Известный программный продукт Classic предназначен для моделирования, анализа свойств и характеристик динамических звеньев или технических систем в целом, заданных структурными схемами или графами с извест-

ными передаточными функциями. При всех несомненных достоинствах этого программного средства к его недостаткам можно отнести отсутствие возможности документирования результатов расчетов, сохранения результатов в отдельные файлы данных для последующего использования в других программных средствах, например, в MathCad, MatLab и им подобных. Кроме того, Classic является полностью обособленным программным обеспечением (ПО). В нем отсутствует возможность интеграции с различными технически ориентированными средами разработки. Существенной особенностью этого ПО также является возможность запуска только под управлением 32-разрядных операционных систем, в то время как в современных персональных компьютерах используются уже 64-разрядные операционные системы.

Соответственно, необходима формализованная система исследования динамических характеристик технических систем подобная Classic, но не имеющая вышеназванных недостатков. Для преодоления проблем и ограничений схе-

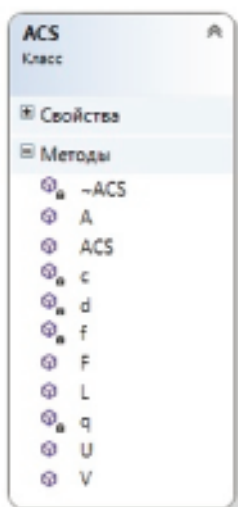


Рис.1. Структура класса ACS

мотехнического моделирования динамических звеньев или технических систем в целом разработан аналогичный (по функционалу) программный продукт, в котором исключены все вышеперечисленные недостатки.

Основами для разработки нового ПО выбраны среда LabVIEW (язык программирования G) компании National Instruments и среда Microsoft Visual Studio (язык программирования C#) компании Microsoft.

Основной причиной такого выбора является то, что оба языка поддерживают работу с платформой .NET Framework, следовательно,

они имеют и общий исполняющий механизм. Одним из аспектов этого механизма является наличие хорошо определенного набора типов, способных понимать каждый поддерживаемый .NET язык. Этот механизм исключает проблемы совместимости сборок, созданных с использованием разных языков программирования. Кроме того, язык G предоставляет гибкую систему управления потоками данных, а C# компенсирует отсутствие объектно-ориентированной парадигмы в языке G. Для сохранения результатов моделирования предлагается использовать формат XML-файла.

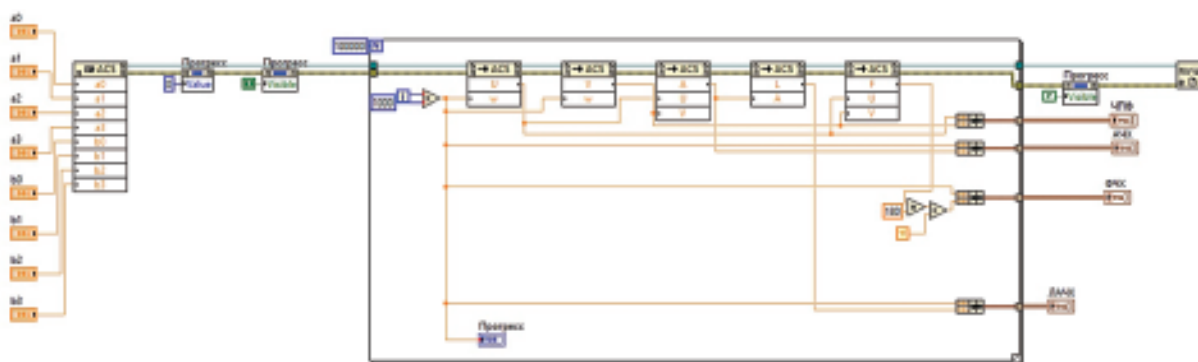


Рис.2. Система вызова функций

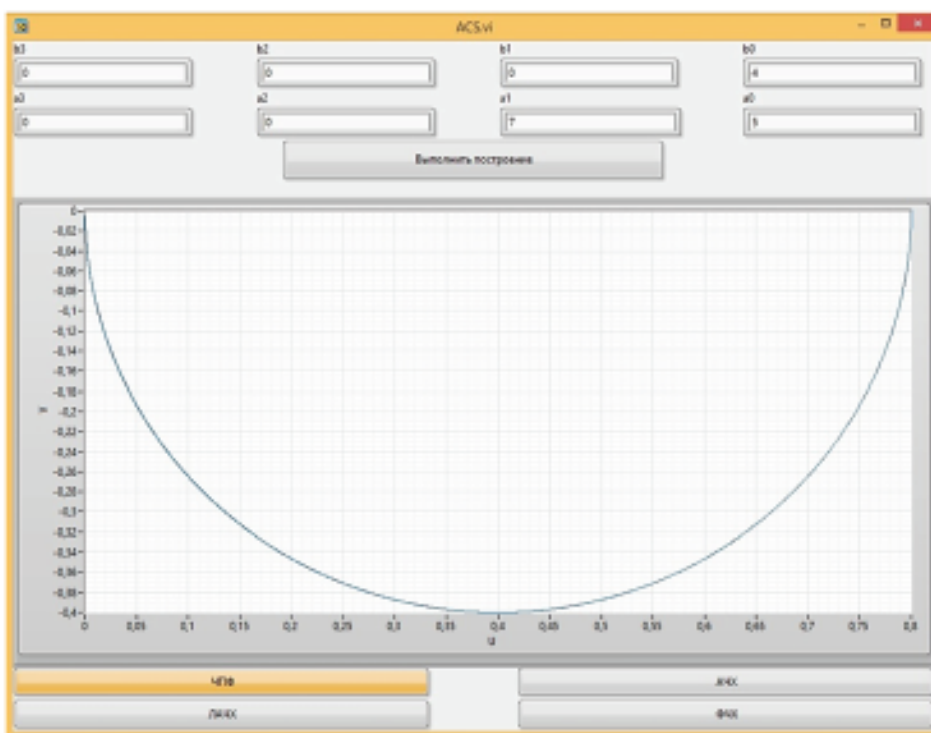


Рис.3. Пример интерфейса программы

### Реализация ПО

В последовательности реализации программного продукта можно выделить следующие 3 части.

Первой частью является реализация математической основы программного обеспечения. Чтобы изолировать математическую компоненту программы от пользовательского интерфейса разработана динамическая библиотека AcsSharp.dll (с использованием языка C#). Она включает в себя единственный класс ACS, описывающий динамическое звено как автономный объект, а также методы взаимодействия с этим объектом (рис. 1). Основными методами взаимодействия с объектом являются метод получения частотной передаточной функции системы, методы вычисления частотных и логарифмических частотных характеристик.

Вторая часть направлена на интеграцию описанной выше библиотеки в среду LabVIEW посредством платформы .NET Framework. Данный способ взаимодействия позволяет моделировать

исследуемый объект в объектно-ориентированной манере. Объектно-ориентированный подход также позволяет выстроить более гибкую и изящную систему вызова функций (методов) в LabVIEW (рис. 2).

Реализация пользовательского интерфейса является заключительной, но не менее важной частью создания программного обеспечения. Обеспечиваются все элементы пользовательского интерфейса, необходимые для ввода передаточных функций звеньев систем, всевозможного отображения результатов моделирования и сохранения результатов исследований в отдельный XML-файл. Пример окна программы приведен на рис. 3.

### Заключение

Для корректной работы программы под управлением операционных систем семейства Windows необходимо дополнительно устанавливать дистрибутивы .NET Framework 4.5 + и LabVIEW Runtime Engine.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Троелсен Э. Язык программирования C# 5.0 и платформа .NET 4.5. М.: Издательский дом «Вильямс», 2012. 1311 с.

2. Суранов А.Я. LabVIEW: справочник по функциям. М.: ДМК Пресс, 2010. 536 с.



*И. В. Щербань*

доктор технических наук, профессор

*Д. Е. Антонов*

Южный Федеральный Университет (ЮФУ)

## ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ КАЛИБРОВКИ МИКРОЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ АКСЕЛЕРОМЕТРОВ

**АННОТАЦИЯ.** Реализовано аппаратное и программное обеспечение для калибровки моделей статических погрешностей микроэлектромеханических (МЭМС) акселерометров. Экспериментальные исследования проведены на МЭМС-микросхеме LSM303DLH, включающей три акселерометра с ортогонально ориентированными измерительными осями.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** микроэлектромеханическая система, акселерометр, калибровка, программное обеспечение, аппаратное обеспечение.

### Введение

Перспективы современного приборостроения связаны с созданием функциональных элементов, обладающих малыми массой, габаритными размерами, энергопотреблением и себестоимостью при безусловном выполнении целевой функции с заданной точностью. Известно, что технологии микроэлектромеханических систем (МЭМС) обеспечивают высокий уровень функциональности, надежности и низкую цену конструируемых на их основе измерительных преобразователей (ИП), например, инерциальных датчиков. Основными недостатками таких датчиков являются сравнительно низкая точность, зашумленность выходного сигнала, а также принципиальная невозможность формирования на сегодняшний день точ-

ных моделей погрешностей ИП МЭМС. Последний факт обусловлен нестабильностью этих моделей, сильной зависимостью модельных параметров от внешних условий — от температуры, характеристик источника питания и т. п. факторов. Таким образом требуется периодическая коррекция моделей погрешностей ИП МЭМС в ходе их эксплуатации. Соответственно, представляет интерес разработанный программно-аппаратный комплекс для исследования статических погрешностей МЭМС микросхем, которые могут содержать до 3 акселерометров.

Схемотехническая реализация комплекса

Аппаратная часть реализованного комплекса включает наклонно-поворотный стол (НПС), преобразователь выходных сигналов цифрового выхода микросхемы МЭМС в протокол UART 2.0 (рис. 1) и ЭВМ.

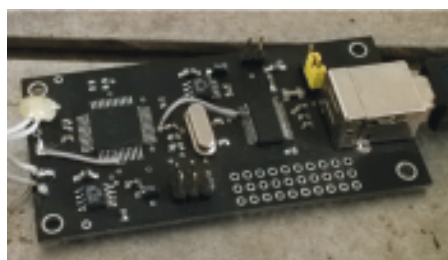
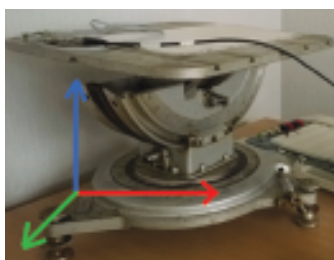


Рис. 1. Наклонно-поворотный стол и преобразователь выходных сигналов в формат UART

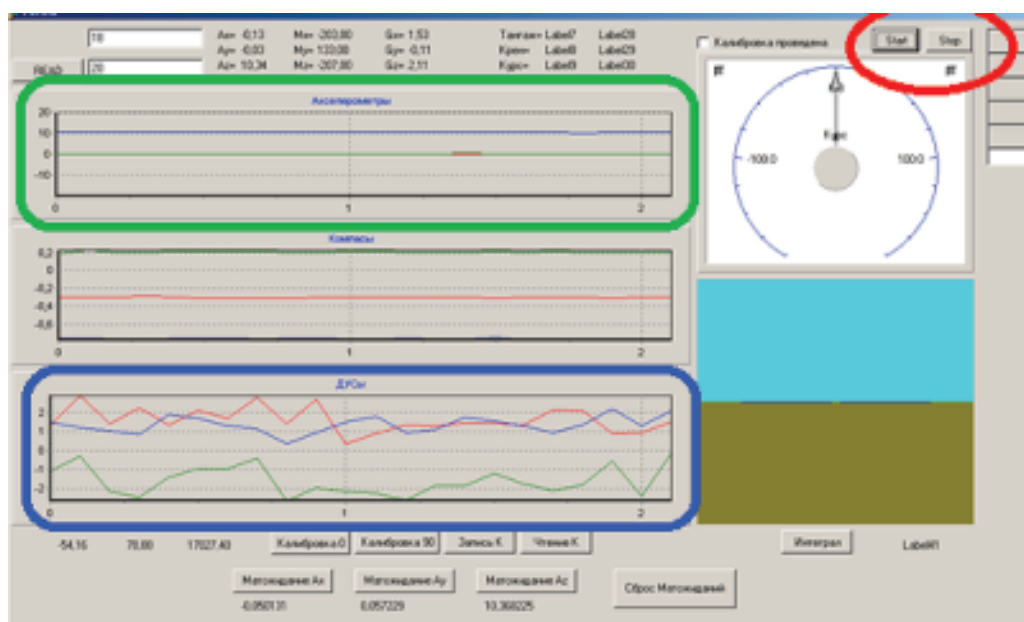


Рис. 2. Пример панели программного обеспечения

НПС позволяет задавать требуемую ориентацию осей чувствительности (ОЧ) акселерометров относительно плоскости горизонта с точностью до 3 угл. мин. Указанной точности вполне достаточно для оценки погрешностей датчиков такого типа. Так, погрешности измерений точно рассчитываемого в месте испытаний гравитационного ускорения, обусловленные погрешностями выставки НПС, имеют в этом случае порядок  $10^{-6}$  м/с<sup>2</sup>. Шумовая же погрешность акселерометров микросхемы, например, LSM303DLH характеризуется среднеквадратичным отклонением (СКО) 0,015 м/с<sup>2</sup>, что предопределяет порядок погрешностей в измерениях ускорений  $10^{-2}$  м/с<sup>2</sup>.

#### Программное обеспечение

Программная часть комплекса реализована в Delphi 7.0. Программа обеспечивает съем информации с 3-х акселерометров, с магнитометра и датчиков угловой скорости (при необходимости), перевод битов в физические величины, запись данных в файлы данных и их статистическую обработку.

Разработана методика статистической обработки записанных файлов измерений. Выполняется проверка шумов ИП МЭМС на гауссовость, рассчитываются параметры шума — математическое ожидание, СКО и смещения нуля, определяется наличие корреляционных связей между измерениями датчиков. На основе проведенных расчетов формулируются рекомендации по коррекции моделей погрешностей МЭМС акселерометров.

На рис. 2 представлена панель программного комплекса для отображения текущих измерений выходных сигналов ИП МЭМС.

#### Заключение

Разработанный программно-аппаратный комплекс позволяет проводить калибровки моделей погрешностей акселерометров МЭМС микросхем. Микросхема может содержать до трех акселерометров.

При испытаниях оси чувствительности акселерометров ориентируются необходимым образом относительно земных осей. По результатам измерений выполняется коррекция моделей статических погрешностей ИП.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Распопов В.Я.** Микромеханические приборы. М.: Машиностроение, 2007. 400 с.
2. **Коркишко Ю.Н.** и др. Исследование работы БИНС в условиях высоких широт с учетом погреш-

ностей реальных датчиков // Доклады XVI Санкт-Петербургской межд. конф. по интегрированным навигационным системам, 25–27 мая 2009, с. 57–60.

*И.В. Щербань*

доктор технических наук, профессор

*Д.А. Знаменский*

Южный Федеральный Университет (ЮФУ)

## **РЕАЛИЗАЦИЯ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОГО КАНАЛА ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫМИ СРЕДСТВАМИ NATIONAL INSTRUMENTS**

**АННОТАЦИЯ.** Разработан и реализован волоконно-оптический канала передачи данных для информационно-измерительной системы. Схемотехническая реализация основана на аппаратных и программных средствах компании National Instruments.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** волоконно-оптический канал, передача данных, информационно-измерительная система, аппаратная реализация, средства National Instruments.

### **Введение**

Для произвольной информационно-измерительной системы (ИИС) разработан выделенный дискретный оптический канал передачи данных. Отличительной особенностью канала является использование простых, имеющихся в свободной продаже неспециализированных оптоэлектронных преобразователей, работающих в инфракрасном диапазоне с длиной волны 930 нм.

Выбор указанного окна прозрачности объясняется робастностью сигнала к засветкам и упрощением, соответственно, конструктивно-исполнения преобразователей.

С целью обеспечения требуемой функциональности оптического канала передачи данных при низкой себестоимости комплектующих, а также вследствие того, что в составе подавляющего большинства ИИС используются средства аналого-цифрового преобразования, для схемотехнической реализации взяты аппаратные средства National Instruments (NI) [1, 2]. Программное обеспечение (ПО) канала передачи, соответственно, выполнено средствами LabVIEW [3].

### **Схемотехническая реализация канала передачи данных**

Структурная схема приема и передачи сигнала по оптической линии связи представлена на рис. 1.

В качестве генератора можно использовать любой таймер, счетчик, либо передатчик двоичной последовательности. Преобразованные электрические импульсы в световые подаются в ВОЛС и на приемном конце обратно преобразуются в электрические. В качестве модуля вывода используется аппаратные средства National Instruments.

Интеграция с аппаратурой NI упростила задачу синтеза функциональных блоков шифрации-дешифрации, модуляции, приема и передачи данных, а также аппаратную совместимость схем реализованного оптического канала.

Аппаратная схема оптоэлектронного преобразователя представлена на рис. 2.

Частотный генератор (таймер) NE555D с помощью резисторов настроен на частоту 36 КГц. При закрытом транзисторе на выход LED1 (инфракрасный светодиод) сигнал не подается. При открывании транзистора на вход RESET пода-

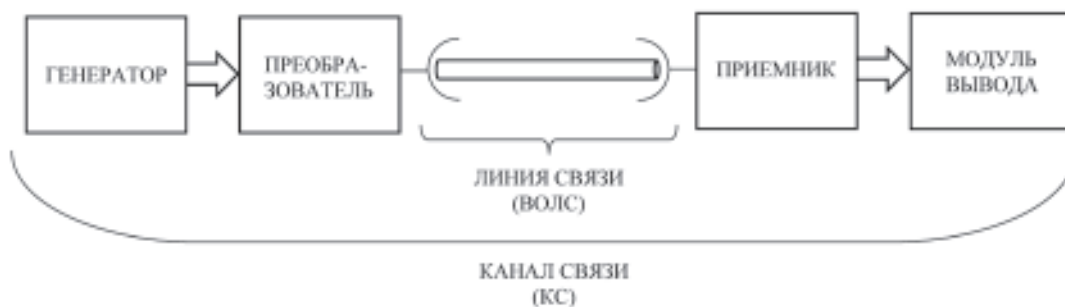


Рис.1 Общий вид канала передачи

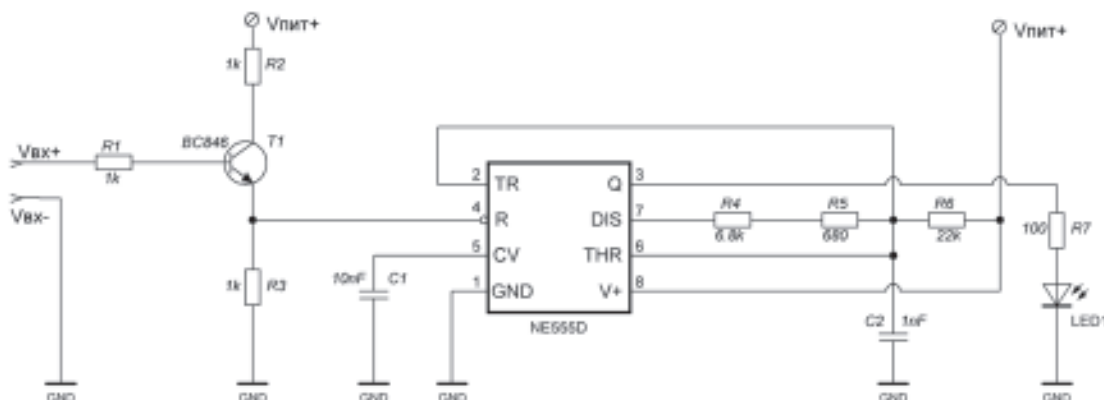


Рис.2 Принципиальная схема передатчика

ется сигнал  $U_{вх+}$  и частотный генератор с выхода Q передает сигнал на светодиод.

В качестве приемника инфракрасного излучения используется микросхема TSOP31236, работающая на той же частоте 36 КГц. Импульс на приеме формируется по изменению сигнала на приемном фотодиоде.

При передаче используется метод расширения спектра [2] и, соответственно один передаваемый импульс задается последовательностью импульсов. В используемой микросхеме

эта последовательность может состоять из  $15 \div 50$  импульсов (рис. 3).

Параметры генератора выбраны следующим образом. Для задания логической единицы используется 30 импульсов с частотой следования 1,2 КГц, а для логического «0» — 15 импульсов с частотой 2,4 КГц. Скорость передачи данных при этом составляет 1,2 Кбит/с, что является приемлемым для многих промышленных ИИС [1, 4].

Известно, что затухание сигнала в инфракрасном спектре достаточно высокое и это ограничивает длину оптического канала передачи. В то же время, дальность передачи в разработанном канале без восстановления сигнала сравнима с дальностью современных проводных электрических каналов на базе интерфейсов RS-485, которая, как известно, не превышает 1,2 км.

**Заключение**

Разработанный дискретный оптический канал передачи данных прост в реализации, построен на основе современной цифровой электронной базы и может быть использован в составе промышленных ИИС.

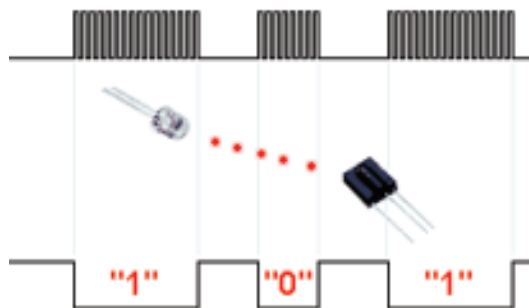


Рис.3. Модуляция сигнала

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Бутырин П.А., Васьковская Т.А., Каратаева В.В., Материкин С.В.** Автоматизация физических исследований и эксперимента: компьютерные измерения и виртуальные приборы на основе LabVIEW. М.: ДМК-Пресс, 2005. 264 с.
2. **Денисенко В.В.** Компьютерное управление технологическим процессом, экспериментом, оборудованием. — М.: Горячая линия — Телеком, 2009. 608 с.
3. Интернет-ресурсы National Instruments <http://russia.ni.com/>
4. **Виглеб Г.** Датчики. Устройство и применение. М.: Мир, 1998. 191 с.



# ТЕХНИКА СРЕДСТВ СВЯЗИ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

№2 (142). 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 20.04.2018. Формат 60×84/8. Печать цифровая.  
Усл. печ. л. 29,75. Тираж 100. Заказ 1193.

---

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.