

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

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

**ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА ЖУРНАЛА:**

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

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

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

**ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОГО СОВЕТА:**

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

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

**Курносов В.И.** Главный специалист ПАО «Интелтех». Д.т.н., профессор. Заслуженный работник связи РФ

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

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

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

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

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

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

**ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ:**

**Бобровский В.И.** ООО «Лаборатория инфокоммуникационных сетей» (г. Санкт-Петербург). Д.т.н., доцент

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

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

**Густов А.А.** ПАО «Интелтех» (г. Санкт-Петербург). Д.в.н., профессор

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

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

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

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

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

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

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

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

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

**Михайлов Р.Л.** Череповецкий военный ордена Жукова университет радиозлектроники (г. Череповец). К.т.н.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

**JOURNAL DEPUTY EDITOR-IN-CHIEF:**

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

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

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

**EDITORIAL COUNCIL MEMBERS:**

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

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

**Kurnosov V.I.** Chief Specialist of PJSC "Inteltech". Doctor of Technical Sciences, Professor. Higher School Honored Employee of the Russian Federation

**Lychagin N.I.** General Designer Advisor of PJSC «Inteltech». Doctor of Technical Sciences, Professor

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

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

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

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

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

**EDITORIAL BOARD MEMBERS:**

**Bobrovskiy V.I.** LLC "Laboratory of infocommunication networks" (St. Petersburg). Doctor of Technical Sciences, Associate Professor

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

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

**Gustov A.A.** PJSC "Inteltech" (St. Petersburg). Doctor of Military Sciences, Professor

**Dementiev V.E.** PJSC "Inteltech" (St. Petersburg). Doctor of Technical Sciences, Associate Professor

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

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

**Kupriyanov A.I.** Moscow Aviation Institut (National Research Universit) Doctor of Technical Sciences, Professor

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

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

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

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

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

**Mikhailov R.L.** Cherepovets Military Order of Zhukov University of Asche Radioelectronics (Cherepovets). Doctorate of Technical Sciences

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

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

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

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

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

**Tsybmal V.A.** Branch of the Great Petr RVSNI Military Academy (Serpuhkov). Doctor of Technical Sciences, Professor

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

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

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

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

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



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

*Периодичность выхода журнала 4 номера в год.*

*Публикация в журнале является научным печатным трудом.*

*Основное содержание издания представляют собой научные статьи и научные обзоры.*

*Информация предназначена для детей старше 12 лет.*

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

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

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

*Подписной индекс журнала «Техника средств связи» – 79656*

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

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

## СОДЕРЖАНИЕ

### ПЕРЕДАЧА, ПРИЕМ И ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ

<b>Кулешов И.А., Шукин А.Н., Солозобов С.А.</b> Устройство формирования сигнала OFDM.....	2
--	---

### СИСТЕМЫ СВЯЗИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ

<b>Мирошников В.И., Кулешов И.А., Талагаев В.И.</b> Тенденции и особенности развития современных телекоммуникационных систем.....	8
--	---

### МОДЕЛИРОВАНИЕ СЛОЖНЫХ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

<b>Молокович И.А.</b> Моделирование передачи трафика IP по радиосети КВ диапазона с помощью Network Simulator NS-2.....	17
<b>Севастьянов С.И.</b> Основные принципы в оценке технического уровня сложных технических систем.....	31

### ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

<b>Семенов С. С., Вылков А. С., Ерыгин В. В.</b> Анализ научно-методического аппарата для проведения предварительной дефектации техники связи военного назначения в условиях огневого поражения противника.....	45
--	----

### СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

<b>Боговик А. В., Сафиулов Д. М.</b> Модель оценки качества системы мониторинга технического состояния техники связи и автоматизированных систем управления телекоммуникационных сетей специального назначения.....	59
--	----

<b>Голунов М. В.</b> Предложения по реализации способа функционального контроля средств радиосвязи автоматизированного радицентра.....	66
---	----

### ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ СЕТИ

<b>Калякин А.Г.</b> История и перспективы развития встраиваемой программируемой микропроцессорной техники в составе комплексов средств автоматизации.....	84
--	----

<b>Информация для авторов</b> .....	94
-------------------------------------	----

<b>Список научных статей, опубликованных в журнале «Техника средств связи» в 2022 году</b> .....	99
--	----

## CONTENTS

### SIGNAL TRANSMISSION, RECEPTION AND PROCESSING

<b>Kuleshov I. A., Shchukin A. N., Solozobov S. A.</b> OFDM Signal Generation Device.....	2
--	---

### COMMUNICATION AND TELECOMMUNICATION SYSTEMS

<b>Miroshnikov V. I., Kuleshov, I. A., Talagaev V. I.</b> Trends and features of the development of modern telecommunication systems.....	8
--	---

### MODELING OF COMPLEX ORGANIZATIONAL AND TECHNICAL SYSTEMS

<b>Molokovich I. A.</b> Simulation of IP traffic transmission over a HF radio network using Network Simulator NS-2.....	17
<b>Sevastyanov S. I.</b> Basic principles in assessing the technical level of complex technical systems.....	31

### ADVANCED RESEARCHES

<b>Semenov S. S., Volkov A. S., Erygin V. V.</b> Analysis of scientific and methodological apparatus for conducting preliminary deflection of military communications equipment in conditions of enemy fire damage.....	45
--	----

### THE CONTROL SYSTEM

<b>Bogovik A.V., Safiulloev D.M.</b> A model for assessing the quality of the monitoring system of the technical condition of communication equipment and automated control systems of the transport communication network of the operational association.....	59
---	----

<b>Golyunov M. V.</b> Proposals for the implementation of a method of functional control of radio communication facilities of an automated radio center.....	66
---	----

### COMPUTING SYSTEMS

<b>Kalyakin A. G.</b> History and prospects of development of embedded programmable microprocessor technology as part of automation complexes.....	84
---	----

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

**ПЕРЕДАЧА, ПРИЕМ И ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ**

УДК 621.396.93

DOI: 10.24412/2782-2141-2022-4-2-7

**Устройство формирования сигнала OFDM**

Кулешов И. А., Щукин А. Н., Солозобов С. А.

**Аннотация. Цель статьи:** показать, как на основе анализа процесса изменения сигнала на выходе модуля обратного дискретного вейвлет-преобразования, сформировать сигнал *Orthogonal frequency-division multiplexing* – мультиплексирования с ортогональным частотным разделением каналов, без использования модуля обратного дискретного вейвлет-преобразования, и обработать сигнал используя модуль прямого дискретного вейвлет-преобразования. Такой вариант построения устройства формирования сигнала мультиплексирования с ортогональным частотным разделением каналов возможен лишь в том случае, если для его обработки в модуле прямого дискретного вейвлет-преобразования используются вейвлет-функции: *haar*, *bior1.1*, *1.3*, *1.5* и *rbio1.1*, *1.3*, *1.5*. Приведены структурная схема устройства формирования сигнала мультиплексирования с ортогональным частотным разделением каналов, его спектральные и временные характеристики, а также графики соответствия символов квадратурной модуляции на выходе и входе модулятора. С практической точки зрения блок обратного дискретного вейвлет-преобразования, формирующий сигнал мультиплексирования с ортогональным частотным разделением каналов, представляет собой набор квадратурных модуляторов, количество которых соответствует количеству поднесущих в сигнале. Если на вход блока обратного дискретного вейвлет-преобразования пришло  $N$  комплексных чисел с выхода квадратурного модулятора, то на его выходе будет  $2 \cdot N$  комплексных чисел, которые представляют квадратурно модулированный сигнал мультиплексирования с ортогональным частотным разделением каналов. **Представлены результаты:** структурная схема устройства формирования сигналов мультиплексирования с ортогональным частотным разделением каналов, графики спектра сформированного сигнала и соответствия символов квадратурной модуляции на входе модуля обратного дискретного вейвлет-преобразования сигнала мультиплексирования с ортогональным частотным разделением каналов и выходе модуля прямого дискретного вейвлет-преобразования, при передаче информации в канале с белым гауссовским шумом, полученные в результате моделирования процессов формирования и обработки сигнала мультиплексирования с ортогональным частотным разделением каналов. Выполнен анализ полученных результатов. **Результаты работы** могут быть реализованы при создании комплексов радиосвязи с большой пропускной способностью.

**Ключевые слова:** квадратурная модуляция, обратное дискретное вейвлет-преобразование, прямое дискретное вейвлет-преобразование, сигнал мультиплексирования с ортогональным частотным разделением каналов, спектральная плотность мощности, интерполяция.

**Введение**

Вейвлет-OFDM модуляция (англ. *Orthogonal frequency-division multiplexing* — мультиплексирование с ортогональным частотным разделением каналов) основана на обратном дискретном вейвлет-преобразовании (*DWT-OFDM*) и используется вместо обратного дискретного преобразования Фурье (*FFT-OFDM*) для формирования OFDM сигнала.

В [1, 2] показано, что вейвлет Хаара, используемый для формирования и обработки OFDM сигнала, превосходит по частоте битовых ошибок (вероятности ошибки бита) при его обработке другими вейвлет-функциями. Его использование обеспечивает также наилучший пик-фактор сформированного OFDM сигнала, наименьшие сложность технической реализации и объем вычислений при формировании и обработке сигнала.

В литературе [3-5] выражено мнение, что вейвлет-OFDM, сформированный на основе вейвлет Хаара, повышает эффективность использования выделенной полосы пропускания по сравнению с *FFT-OFDM*, поскольку ему не требуется циклический префикс для борьбы с многолучевостью. Однако без использования дополнительных преобразований *DWT-OFDM* сигнала получить его спектр с сконцентрированной в узкой полосе частот энергией становится проблематично.

В [6] приведены результаты имитационного моделирования, спектрально-эффективного *DWT-OFDM* сигнала на основе сглаживания процесса его изменения.

### 1. Спектрально-эффективный модулятор OFDM

Спектрально-эффективный модулятор *OFDM* на основе дискретного вейвлет-преобразования, формирующий *OFDM* сигнал, представляет собой набор квадратурных модуляторов. На его вход поступают *QAM* символы (*Quadrature Amplitude Modulation* – квадратурная модуляция) с выхода *QAM*-модулятора, представляющие собой комплексные числа. На его выходе будут также формироваться комплексные числа, которые представляют *OFDM* сигнал, однако их количество будет в два раза больше.

Анализ сигнала *OFDM*, сформированного в базисе определенного типа вейвлет-функций, на выходе модуля обратного вейвлет преобразования *IDWT-OFDM* [6] показал, что каждому *QAM* символу на его входе соответствуют два совершенно одинаковых по амплитуде и фазе символа на его выходе.

На рис. 1 представлен график *QAM* символов на входе и выходе модуля *IDWT-OFDM* спектрально-эффективного модулятора *OFDM*, представленного на рис. 2.

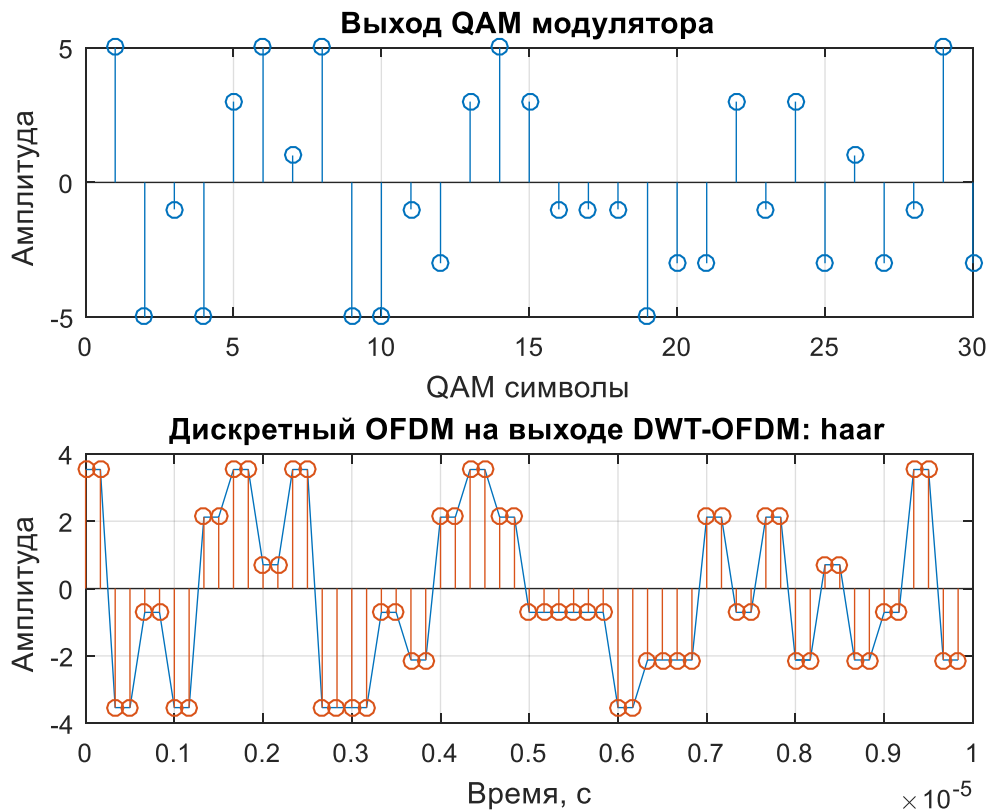
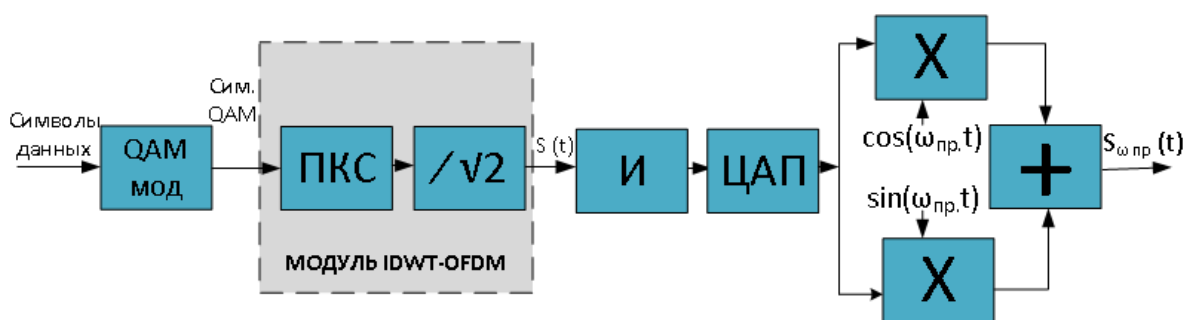


Рис. 1. *QAM* символы на входе и выходе модуля *IDWT-OFDM*

Рис. 2. Спектрально-эффективный модулятор *OFDM*

Из рис. 1 видно, что одному символу *QAM* (верхний рисунок) соответствуют два символа *QAM* на выходе модуля *IDWT-OFDM* (нижний рисунок).

Анализ сигналов показал, что символы *QAM* на входе и выходе модуля *IDWT-OFDM* отличаются по амплитуде в корень из двух раз.

Такая структура сигнала *OFDM* на выходе модуля *IDWT-OFDM* позволяет исключить из тракта формирования модуль *IDWT*. Вместо него использовать повторитель копии символа (ПКС) и делитель  $\sqrt{2}$ , показанного штриховой линией на рис. 2.

Символы данных, преобразованные в *QAM* модуляторе, поступают на вход модуля *IDWT-OFDM*, в котором формируется *OFDM* сигнал. Комплексный дискретный сигнал сглаживается в интерполяторе (И), преобразуется в аналоговый с помощью цифро-аналогового преобразователя (ЦАП) и переносится на промежуточную частоту квадратурным преобразователем частоты.

Таким образом, из тракта формирования *OFDM* сигнала исключен модуль *IDWT*, что упрощает техническую реализацию устройства формирования сигнала *OFDM*.

## 2. Результаты моделирования процесса формирования *OFDM* сигнала в спектрально-эффективном модуляторе

Исследования процессов формирования *OFDM* сигнала проводились в среде *MatLab*. В имитационной модели процесса формирования *OFDM*, сигнал формировался при:

- полосе частот 3,1 МГц ;
- скорости передачи на поднесущей *OFDM* сигнала 10 кбит/с;
- вейвлет-функции *haar*.

На рис. 3 представлены спектры *OFDM* сигнала на выходе интерполятора устройства формирования сигнала *OFDM*. Из него видно, что при интерполяции методом быстрого преобразования Фурье (БПФ) спектр сигнала *OFDM* имеет низкий уровень сигнала за пределами основного лепестка, где сосредоточена основная его энергия. При линейной интерполяции энергия сигнала *OFDM* распределена неравномерно в спектре частот, что приводит к необходимости использования более сложных фильтров при его формировании.

Правильность функционирования модуля *IDWT-OFDM* устройства формирования сигнала *OFDM* иллюстрируется графиками, представленными на рис. 4. На нем представлены символы *QAM*, поступающие на вход модуля *IDWT-OFDM* и, прошедшие через канал с белым гауссовским шумом после преобразования *OFDM* в квадратурном преобразователе, и символы *QAM* на выходе модуля прямого дискретного преобразования *DWT* в тракте приема при использовании вейвлет функции Хаара (*haar*).

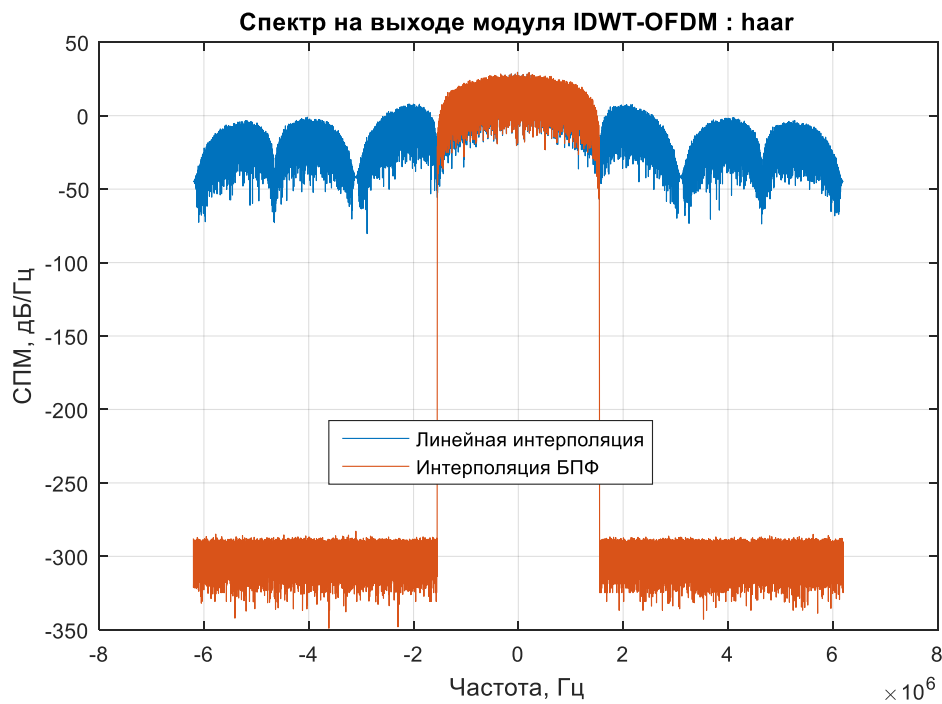


Рис. 3. Спектр сигнала на выходе интерполятора

Из рис. 4 видно, что фазы символов на верхнем и нижнем рисунках совпадают. Отличия наблюдаются только в их амплитуде. Это свидетельствует о том, что реализованный по такой схеме модуль *IDWT-OFDM* в устройстве формирования сигнала *OFDM* формирует такой же сигнал, что и при наличии в составе модулятора *OFDM* модуля *IDWT*.

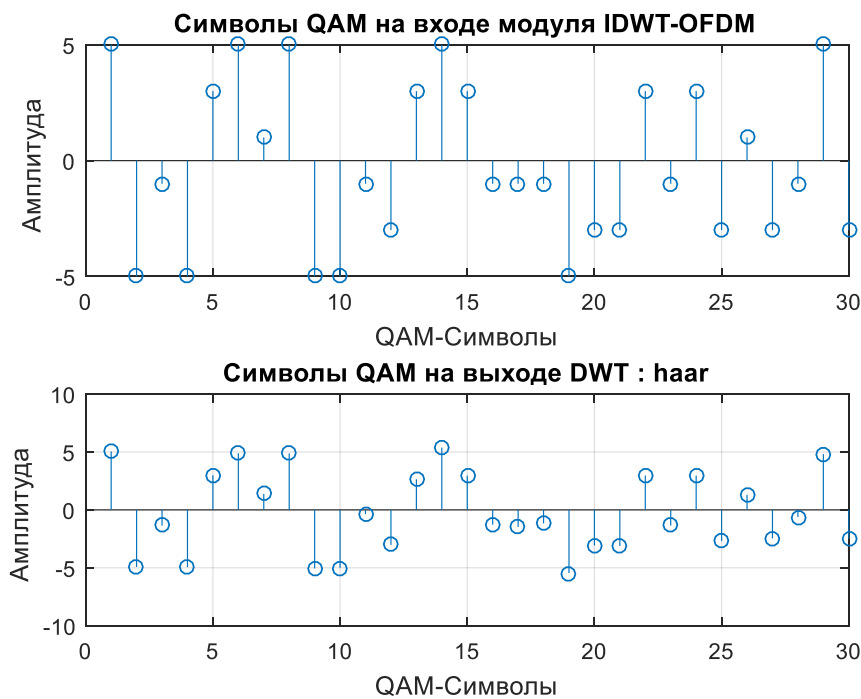


Рис. 4. QAM символы на входе модуля *IDWT-OFDM* и выходе *DWT*

### Выводы

1) Повторение символов *QAM* на выходе модуля *IDWT* с амплитудой в  $\sqrt{2}$  раз меньшей чем амплитуда *QAM* символа на выходе *QAM* модулятора открывает новые перспективы для создания устройств формирования *OFDM* сигналов. Этот вариант создания устройства формирования сигнала *OFDM* может быть реализован только при использовании вейвлет-функций типа *haar*; *bior1.1*, 1.3, 1.5 и *rbior1.1*, 1.3, 1.5.

2) Спектр сигнала *OFDM* на выходе интерполятора свидетельствует о том, что сглаживание процесса его изменения способствует концентрации энергии в узкой полосе частот.

3) Имитация процесса передачи информации в канале с белым гауссовским шумом показывает практически полное совпадение по фазе и амплитуде символов *QAM* на выходе и входе *QAM* модулятора устройства формирования и обработки *OFDM* сигнала.

### Литература

1. Kumbasar V., et al., "Optimization of wavelet based OFDM for multipath powerline channel by genetic algorithm". *Wireless Communications and Mobile Computing*. 2009. Vol. 9. No. 9. Pp. 1243-1250.
2. Weeks M. *Digital Signal Processing Using MATLAB and Wavelets*. Georgia State University. 2007.
3. Khan U., Baig S., Mughal J. Performance Comparison of Wavelet Packet Modulation and OFDM for Multipath Wireless Channel with Narrowband Interference. 2nd International Conference on Computer. Control and Communication. Pp. 1-4, (2009).
4. Baoguo Y., Letaief K. B., Cheng R. S., Zhigang C. Channel estimation for OFDM transmission in multipath fading channels based on parametric channel modeling. *IEEE Transactions on Communications*. Vol. 49. No. 3. 2001. Pp. 467-479.
5. Rappaport T. S. *Wireless communications: principles and practice*. Vol. 2. 1996. Prentice Hall PTR Upper Saddle River (New Jersey).
6. Щукин А. Н., Солозобов С. А. Формирование спектрально-эффективного OFDM сигнала в базисе дискретных вейвлет-функций // *Техника средств связи*. 2022. № 3. С. 80-89. DOI: 10.24412/2782-2141-2022-3-80-89.

### References

1. Kumbasar V., et al. "Optimization of wavelet based OFDM for multipath powerline channel by genetic algorithm". *Wireless Communications and Mobile Computing*. 2009. Vol. 9. No. 9. Pp. 1243-1250.
2. Weeks M. *Digital Signal Processing Using MATLAB and Wavelets*. Georgia State University. 2007.
3. Khan U., Baig S., Mughal J. Performance Comparison of Wavelet Packet Modulation and OFDM for Multipath Wireless Channel with Narrowband Interference. 2nd International Conference on Computer. Control and Communication. Pp. 1-4. (2009).
4. Baoguo Y., Letaief K. B., Cheng R. S., Zhigang C. Channel estimation for OFDM transmission in multipath fading channels based on parametric channel modeling. *IEEE Transactions on Communications*. Vol. 49. No. 3. 2001. Pp. 467-479.
5. Rappaport T. S. *Wireless communications: principles and practice*. Vol. 2. 1996. Prentice Hall PTR Upper Saddle River (New Jersey).
6. Shchukin A. N., Solozobov S. A. The formation of a spectral-efficient OFDM signal in the basis of discrete wavelet functions. *Means of communication equipment*. 2022. No. 3. Pp 80-89. DOI: 10.24412/2782-2141-2022-3-80-89 (in Russian).

Статья поступила 12 ноября 2022 г.

### Информация об авторах

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

*Щукин Анатолий Николаевич* – Главный специалист ПАО «Интелтех». Кандидат технических наук. Область научных интересов: системы радиосвязи. Тел.: +7 (812)448-95-94 E-mail: ShchukinAN@inteltech.ru.

*Солозобов Сергей Анатольевич* – Начальник научно-исследовательского отделения ПАО «Интелтех». Кандидат технических наук, доцент. Область научных интересов: системы радиосвязи. Тел.: +7 (812)295-40-54. E-mail: solozobob@inteltech.ru.

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

### OFDM Signal Generation Device

I. A. Kuleshov, A. N. Shchukin, S. A. Solozobov

**Annotation.** *The purpose of the article: to show how, based on the analysis of the process of changing the signal at the output of the module of the inverse discrete wavelet transform, to form an Orthogonal frequency-division multiplexing - multiplexing signal with orthogonal frequency division of channels, without using the module of the inverse discrete wavelet transform, and to process the signal using the module of the direct discrete wavelet transform. Such a variant of constructing a multiplexing signal generation device with orthogonal frequency division of channels is possible only if the following wavelet functions are used for its processing in the direct discrete wavelet transform module: haar, bior1.1, 1.3, 1.5 and rbio1.1, 1.3, 1.5. A block diagram of a multiplexing signal generation device with orthogonal frequency division of channels, its spectral and temporal characteristics, as well as graphs of the correspondence of quadrature modulation symbols at the output and input of the modulator. From a practical point of view, the block of inverse discrete wavelet transform, which forms a multiplexing signal with orthogonal frequency division of channels, is a set of quadrature modulators, the number of which corresponds to the number of subcarriers in the signal. If  $N$  complex numbers came to the input of the reverse discrete wavelet transform unit from the output of the quadrature modulator, then its output will be  $2*N$  complex numbers that represent a quadrature modulated multiplexing signal with orthogonal frequency division of channels. The results are presented: a block diagram of a device for generating multiplexing signals with orthogonal frequency division of channels, graphs of the spectrum of the generated signal and the correspondence of quadrature modulation symbols at the input of the module of the inverse discrete wavelet transform of the multiplexing signal with orthogonal frequency division of channels and the output of the module of the direct discrete wavelet transform, when transmitting information in a channel with white Gaussian noise, obtained as a result of modeling the processes of multiplexing signal formation and processing with orthogonal frequency division of channels. The analysis of the obtained results is carried out. The results of the work can be implemented when creating radio communication complexes with high bandwidth.*

**Keywords:** *quadrature modulation, inverse discrete wavelet transform, direct discrete wavelet transform, multiplexing signal with orthogonal frequency division of channels, power spectral density, interpolation.*

### Information about Authors

*Kuleshov Igor Aleksandrovich* – Deputy General Director of PJSC "Inteltech" for scientific work. Doctor of Technical Sciences, Associate Professor. Research interests: communication, navigation and control systems for special purposes. Tel.: +7 (812)542-90-54. E-mail: inteltech@inteltech.ru.

*Anatoly N. Shchukin* – Chief Specialist of PJSC "Inteltech". Candidate of Technical Sciences. Research interests: radio communication. Tel.: +7 (812)448-95-94 E-mail: ShchukinAN@inteltech.ru.

*Solozobov Sergey Anatolyevich* – Head of the Research Department of PJSC "Inteltech". Candidate of Technical Sciences, Associate Professor. Research interests: radio communication. Tel.: +7 (812)295-40-54. E-mail: solozobob@inteltech.ru. Address: 197342, Russia, St. Petersburg, Kantemirovskaya str., house 8.

**Для цитирования:** Кулешов И. А., Щукин А. Н., Солозобов С. А. Устройство формирования сигнала OFDM // Техника средств связи. 2022. № 4 (160). С. 2-7. DOI: 10.24412/2782-2141-2022-4-2-7.

**For citation:** Kuleshov I. A., Shchukin A. N., Solozobov S. A. OFDM Signal Generation Device. Means of Communication Equipment. 2022. No. 3 (160). Pp. 2-7. DOI: 10.24412/2782-2141-2022-4-2-7. (in Russian).



**СИСТЕМЫ СВЯЗИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ**

УДК 621.391

DOI: 10.24412/2782-2141-2022-4-8-16

**Тенденции и особенности развития современных телекоммуникационных систем**

Мирошников В. И., Кулешов И. А., Талагаев В. И.

***Аннотация.** Достижения в области микроэлектроники, вычислительной техники и цифровых технологий открыли информационную супермагистраль по созданию современных телекоммуникационных систем различного назначения и масштаба. Системы связи становятся сложными многокомпонентными аппаратно-программными образованиями, способными предоставлять мультисервисные услуги по обмену разнородной информацией в условиях дестабилизирующих и деструктивных факторов. Для успешного проектирования и создания таких систем необходимо учитывать основные направления и особенности их развития и условия практического использования. Целью и направленностью данной работы является анализ и обобщение результатов, полученных в области исследований эволюции телекоммуникаций, исторического опыта их создания на основе применения инновационных методов передачи и обработки информации, программно-технических средств автоматизации и интеллектуализации управления связью. Результаты выполненного анализа могут быть полезны в качестве методического аппарата при проектировании и выборе архитектуры новых телекоммуникационных систем и средств управления системами в условиях дестабилизирующих и деструктивных воздействий.*

***Ключевые слова:** телекоммуникационная система, цифровой канал связи, управление связью, автоматизация управления, интеллектуализация управления, информационные и аналитические модели, экспертная система.*

**Введение**

Наряду с материей и энергией информация становится ключевым понятием современного мира. Нарастающий обмен различными видами информации приобрел глобальный характер и служит важнейшим связующим фактором в геополитике, экономике, военном деле и межкультурных коммуникациях. С ростом темпов индустриализации и милитаризации мирового сообщества особую актуальность информационный обмен приобретает в сфере управления различными видами корпоративной и профессиональной деятельности.

Как инструмент организации совместных действий, управление появилось в человеческом сообществе давно, не позднее перехода от первобытно-общинного строя к последующим общественным формациям. В производственных областях управление стало неизбежным с переходом от единоличного к общественному труду. В государственной и военной сферах управление было необходимо, по-видимому, всегда. Транспортной средой для обмена разнообразной информацией управления служили и до сих пор служат рукотворные, искусственные системы связи различного назначения и физической природы. Системы связи для управления и информационного взаимодействия на расстоянии между людьми и людей с машинами получили название телекоммуникационных систем [1-3].

Современные стационарные и мобильные телекоммуникационные системы сложные многокомпонентные организационно-технические образования, транспортирующие разнообразную информацию в разнородных средах в виде сигналов различной физической природы [4, 5]. Сигналы передаются в условиях нестабильности внешней среды и деструктивных воздействий. Воздействия на сигналы и радиоэлектронное оборудование систем носят как случайный, так и организованный характер со стороны других

противоборствующих систем. Создание интеллектуальных телекоммуникационных систем, способных функционировать в этих условиях становится ключевым направлением их дальнейшего развития, особенности которого требуют специального анализа.

### **Особенности развития современных систем связи**

Ввиду сложности самих систем, нестабильности среды, в которой происходит передача информации, мобильности и пространственной рассредоточенности абонентов необходимым условием эффективной работы телекоммуникационных систем является управление. Механизм управления приводится в действие специальными органами с участием людей или программно-техническими средствами, которые целенаправленно воздействуют на структуру систем с целью ее перестройки и поддержания требуемого качества информационного обмена.

Связь и управление связью едины в использовании понятий образ, информация и сигнал. Поэтому первой из отличительных особенностей современных телекоммуникационных систем является то, что сами системы и средства управления ими создаются и развиваются одновременно, потому что раздельно существовать они уже не могут [5, 6].

Другая отличительная черта современных телекоммуникационных систем – комплексная автоматизация управления информационным обменом [7, 8]. Процесс воспроизводства аппаратными средствами и электронными машинами интеллектуальных психомоторных и творческих способностей людей, занятых управлением – магистральное направление развития телекоммуникационных систем. Главная цель автоматизации состоит в том, чтобы практически исключить человека из сферы непосредственного управления не только низового и среднего, но и высшего уровня. С увеличением пространственного охвата и дальности связи, числа абонентов и управляемых объектов, видов и потоков информации автоматизация управления неизбежное и экономически оправданное направление развития телекоммуникационных систем, дающее наибольший прирост эффективности связи на единицу затрат.

Сложность автоматизации управления телекоммуникационными системами обусловлена иерархичностью их структур, состоящих из большого числа пространственно-рассредоточенных подсистем, комплексов, средств связи и автоматизации управления. Разнообразные компоненты телекоммуникационных систем взаимодействуют между собой непростым образом и связаны множеством отношений подчиненности. Создание систем такого масштаба и сложности уже невозможно без применения цифровых методов порождения, преобразования, передачи, приема, обработки, хранения, регистрации и отображения информации, т. е. новейших информационных и телекоммуникационных технологий.

Другим важнейшим шагом в развитии телекоммуникационных систем явился переход от коммутации каналов и сообщений к коммутации пакетов. Дельта модулированные сигналы (по сути цифровые) и способы абонентского и канального кодирования, пришедшие из кибернетики, стали широко применяться в вычислительной технике и каналах телекоммуникаций. Коммутация пакетов по большинству параметров превосходит методы коммутации каналов и сообщений, и позволяет эффективно реализовывать как диалоговые взаимодействия абонентов систем высокоскоростного обмена информацией, так и передачу больших объемов информации. Кроме этого цифровые технологии открыли широкий спектр возможностей, таких как: максимальное использование дорогостоящих каналов связи, контроль передачи информации по информационному и логическому каналам, обеспечение низкого уровня ошибок передачи сигналов ( $P_{\text{ош}} = 10^{-12}$ ), использование мини и макро-ЭВМ в качестве коммутационных и интерфейсных машин, использование модульного принципа построения аппаратных и

программных средств, разграничение функциональных уровней в архитектуре систем обмена данными, регламентацию иерархий протоколов, реализацию основных протоколов транспортной станции в интерфейсных и связанных ЭВМ.

Широкое использование достижений в области цифровой связи и электронных вычислительных машин – третья отличительная особенность современных и перспективных телекоммуникационных систем. Встроенные распределенные цифровые средства и системы автоматизации интеллектуальных психомоторных и творческих функций на базе ЭВМ, выполняемых ранее должностными лицами органов управления, специалистами и операторами связи, становятся неотъемлемыми компонентами телекоммуникационных систем [9, 10]. Высокоавтоматизированные системы связи со встроенными средствами искусственного интеллекта, воспроизводящими мыслительные способности людей, уже могут быть названы системами с искусственным интеллектом, или интеллектуальными телекоммуникационными системами.

Другой чертой современных телекоммуникационных систем становится интеллектуализация управления информационным обменом. В интеллектуальных телекоммуникационных системах природные психофизические и умственные функции людей, занятых организацией и управлением связью, усиливаются «электроникой» в широком смысле этого слова. Теоретическую основу и практическую возможность интеллектуализации управления связью, т. е. автоматизации психомоторного и творческого интеллектуального труда должностных лиц органов управления, предоставляют современные аппаратные платформы и быстроразвивающиеся информационные, компьютерные технологии. Благодаря им в современных телекоммуникационных системах уже автоматизированы многие психомоторные и отдельные творческие интеллектуальные функции управления информационным обменом, которые воспроизводятся автоматически без участия человека с помощью встроенных средств автоматизации и систем искусственного интеллекта. Например, в Интернете, в системах космической и сотовой связи и др.

Однако, в специальных системах связи, например, в государственных и военных, ввиду масштабности и сложности их структуры, особой важности передаваемой информации и возможного противодействия со стороны противоборствующих систем человек продолжает участвовать в управлении информационным обменом, а сами системы остаются человеко-машинными, эргатическими системами. Это объясняется, прежде всего, тем, что при повышении степени автоматизации на верхний уровень управления системами выносятся решение наиболее важных управленческих задач в условиях априорной неопределенности исходной информации, особенно в экстремальных ситуациях. Оперативное решение этих задач и принятие ответственных решений на основе информации о состоянии системы и внешней среды одна из сложных интеллектуальных задач управления пока не воспроизводима «машинными» способами и «ложится на плечи» должностных лиц высших органов управления.

Психологические и интеллектуальные трудности, которые испытывает человек при решении задач управления, связаны с ограниченной емкостью его кратковременной памяти при выборе возможных вариантов решений для заданного состояния системы и внешней среды. Кроме этого высокие требования по оперативности управления накладывают существенные ограничения на время вынесения решения. Скорость человеческого мышления уже не укладывается в жесткие рамки этих требований. А ввиду тяжести возможных последствий резко возрастает «цена» самих решений и роль «человеческого» фактора. Поэтому в высокоавтоматизированных телекоммуникационных системах должностные лица высших органов оперативного управления несут повышенные психофизические и интеллектуальные нагрузки.

Наиболее остро «человеческий» фактор в подготовке и принятии управленческих решений проявляется в системах связи военного назначения, управления транспортом и ядерной энергетикой. В настоящее время в научных центрах мира продолжают исследования, направленные на индустриализацию умственного труда людей, занятых управлением сложными техническими системами, функционирующими в экстремальных условиях. Эти работы охватывают и сферу управления телекоммуникационными системами. Главная цель и направленность этих работ – создание прикладных, предметно-ориентированных информационно-аналитических систем искусственного интеллекта на базе ЭВМ, заменяющих человека при решении различных управленческих задач, которые требуют проявления креативных, интеллектуальных способностей.

Принципиальные трудности, которые испытывают исследователи и разработчики любых кибернетических систем, воспроизводящих двигательные (психомоторные) или мыслительные (интеллектуальные) способности человека, заключаются в «не понимании того, как это делает мозг» и невозможности вербального и формального описания мыслительных процессов при решении людьми интеллектуальных задач. Все, что лежит за пределами общечеловеческого сознательного опыта не поддается описанию словами. Существующие теоретические методы и модели описания мышления человека далеки от реальных физиологических и биологических процессов работы мозга человека и отражают только его информационные аспекты, проявляющиеся в естественном языке и речи.

Тем не менее, для некоторых областей профессиональной деятельности, в которых требуется решение рутинных, многократно повторяющихся интеллектуальных задач, уже разработаны информационные компьютерные средства в виде автоматизированных систем управления и проектирования, предметно-ориентированных экспертных и консультационных систем, моделей и баз данных для типовых объектов и процессов [11]. Такие системы создаются там, где интеллектуальные задачи точно формулируются на естественном языке, поддаются формализации (алгоритмизации), нет большой неопределенности в исходных данных и высоких требований к оперативности их решения.

Опыт же создания средств искусственного интеллекта для автоматизации управления сложными динамическими системами, в том числе и телекоммуникационными, показал невозможность четкого описания и формализации большинства интеллектуальных задач управления, оперативного получения, машинного отбора и уменьшения объема необходимой для их решения информации о состоянии системы и внешней среды. Указанные причины пока не позволяют полностью автоматизировать интеллектуальный труд управленца сложной телекоммуникационной системой и исключить человека из контура управления, заменив его бездушным искусственным разумом.

Выходом из сложившейся ситуации стало создание человеко-машинных информационно-аналитических систем, связывающих интеллектуальные способности людей-управленцев с возможностями современной вычислительной техники. Основными компонентами таких систем становятся специальные программные компьютерные средства интеллектуальной помощи, поддержки и консультирования должностных лиц при решении задач управления. Средства компьютерной поддержки служат своего рода «усилителями и ускорителями мыслительных способностей», главным образом при решении наиболее сложных интеллектуальных задач при принятии управленческих решений [12-14].

«Интеллектуализация» управления связью в виде «машинной» поддержки умственной работы должностных лиц при подготовке и принятии управленческих решений, пожалуй, единственный, возможный в настоящее время способ обеспечения эффективного функционирования сложных телекоммуникационных систем специального назначения в экстремальных ситуациях. Применение информационно-аналитических систем интеллектуальной поддержки (помощи) и экспертных систем совместно с системами

отображения состояния системы снижает психофизическую нагрузку на должностных лиц органов управления связью, повышает мотивацию, обоснованность и оперативность управления.

Среди трудоемких интеллектуальных задач оперативного управления телекоммуникационными системами главное место занимают задачи, связанные с регулированием, или подстройкой (адаптацией) системы к условиям функционирования. Цель адаптации-сохранение «рабочего» состояния системы, т. е. обеспечение требуемого качества информационного обмена в данном состоянии системы и внешней среды. Например, в ситуациях информационных перегрузок, выхода из строя технических средств, поражения компонентов системы в результате воздействия природных или искусственных (со стороны других систем) деструктивных факторов. Поддержание требуемого качества информационного обмена в условиях перегрузок, отказов и воздействий агрессивной внешней среды возможно при наличии в системе резерва связных ресурсов, т. е. функциональной (информационной) и материально-технической избыточности ее структуры. А также эффективной системы сбора и отображения информации о состоянии элементов системы и характера внешних деструктивных и дестабилизирующих воздействий и их последствий.

Любой интеллект, в том числе «машинный», невозможен без обратных связей. В частности, при переборе вариантов структуры и организации адаптивного управления системой связи. Подстройка системы органами управления производится с учетом постоянного мониторинга текущего состояния компонентом системы и снижения качества информационного обмена. Поэтому важнейшим любой системы адаптивного и ситуационного управления является средства отображения состояния элементов системы. Например, состояния радиоканалов при их поражении преднамеренными помехами, и объектов (средств связи) при огневом поражении оружием.

Рациональный анализ состояния системы и внешних деструктивных воздействий, выбор адекватного условиям функционирования варианта ее структуры и способа использования избыточности в экстремальных условиях – главные задачи, которые приходится решать должностным лицам органов управления телекоммуникационными системами. Перестройка органами управления структуры и параметров системы на основе анализа ее состояния осуществляется путем изменения состава, связей и алгоритмов работы основных и резервных связных компонентов [6, 7].

Управленческие решения по перестройке структуры системы заключаются в выборе наилучшего ее варианта для заданных условий функционирования из числа альтернативных путем анализа их качества [6, 12-15]. Качество любой системы связи определяется совокупностью свойств: главного, целевого – способности обеспечивать информационный обмен с необходимыми потребителям вероятностно-временными характеристиками, и второстепенных – возможностью устойчиво работать в условиях воздействия разнородных внешних и внутренних деструктивных и дестабилизирующих факторов. В частности, такое свойство как живучесть характеризует способность системы осуществлять информационный обмен при физическом разрушении отдельных объектов связи и оборудования. Помехоустойчивость и помехозащищенность характеризуют работоспособность системы в условиях естественных и преднамеренных помех [11-14], а надежность – возможность исправно функционировать при отказах технических средств. Функционирование системы в условиях различных видов внешних и внутренних деструктивных воздействий характеризуется совокупным свойством – ее устойчивостью.

Оценка качества и свойств системы с заданной структурой и параметрами в условиях деструктивных воздействий относится к задачам анализа. Продуцирование и выбор новой структуры и параметров системы с требуемыми свойствами в заданных, или прогнозируемых условиях работы относится к задачам синтеза. Решение должностными лицами рутинных задач анализа состояния и синтеза новой структуры системы происходит на каждом этапе цикла адаптивного, или ситуационного управления. Сбор информации о

состоянии системы и многократное решение в процессе управления трудоемких задач анализа свойств и синтеза структуры на основе интуитивной оценки, имеющихся в памяти знаний и практических навыков, обработка и творческое оперирование ими в подсознании – основное содержание интеллектуальной психомоторной и творческой деятельности должностных лиц органов оперативного управления телекоммуникационными системами.

Мощным «машинным» средством интеллектуальной помощи должностным лицам органов управления телекоммуникационными системами при решении трудоемких задач анализа свойств и синтеза структуры систем являются компьютерное моделирование и использование хранилищ знаний [10-14]. Компьютерные аналитические модели, экспертные и консультационные системы, структурированные базы и банки знаний (данных) составляет основу информационных систем, воспроизводящих работу мозга человека при решении им интеллектуальных задач и, в частности, систем интеллектуальной поддержки управления связью.

Оперативное решение задач анализа и синтеза на компьютерных моделях, по сути, представляет собой машинную имитацию, воспроизведение когнитивных (умственных) психомоторных и творческих способностей должностных лиц органов управления при подготовке и принятии управленческих решений. Положительным свойством «машинного» решения этих задач является высокая оперативность и надежность в подготовке исходных данных для принятия решений должностными лицами органов оперативного управления. Для проведения анализа разнородных свойств телекоммуникационных систем, функционирующих в условиях деструктивных воздействий, на компьютерных моделях необходим соответствующий методологический аппарат [5-7,10, 15].

Истина в цифрах, поэтому разработка расчетного, «аналитического» компонента – первый этап создания информационных систем интеллектуальной поддержки управления телекоммуникационными системами. На этом этапе осуществляется перевод основных категорий (понятий) качества и свойств телекоммуникационных систем на формальный язык, построение баз данных, моделей и экспертных (консультационных) систем для их количественной оценки и перенос этих моделей в программную среду с удобным для пользователей интерфейсом. Методом «синтеза через анализ», т. е. путем генерации (машинного перебора) возможных вариантов структуры и численной оценки их качества и свойств появляется возможность реализации «синтезирующего» этапа адаптивного управления – выбора структуры системы с требуемыми свойствами для заданных, или прогнозируемых условий функционирования.

Человек мыслит категориями – понятиями. Для количественной оценки качества и разнородных свойств телекоммуникационных систем, т. е. перехода от понятия к числу, необходимы численные меры (показатели и критерии) и способы их выбора и расчета. Для простоты, единства подхода и общности результатов оценки необходимо руководствоваться общими понятиями, терминами и определениями в рамках соответствующей методологии. Методология количественной оценки качества и свойств телекоммуникационных систем может быть разработана с привлечением теории сложных систем [4] и квалиметрии [15], изучающей методы контроля качества продукции и услуг. На основе положений этих теорий могут быть сформированы понятия и выбраны показатели и критерии качества и основных свойств телекоммуникационных систем, принципиально важных для пользователей: эффективности, «информативности» (пропускной способности), устойчивости, живучести, помехоустойчивости (помехозащищенности), разведзащищенности (скрытности), информационной безопасности, надежности и других потребительских свойств [15].

Проблемы выбора показателей качества и потребительских свойств сосредоточены в точке встречи предъявляемых к системе требований, ее внутренней организации и внешней среды. Поэтому показатели должны быть непосредственно связаны с областью применения и целевым назначением системы, учитывать ее структуру и параметры, условия работы и

характер внешних и внутренних деструктивных воздействий, требования пользователей к функциональным характеристикам системы и качеству информационного обмена [4]. Кроме этого показатели должны быть критичны к изменению указанных факторов, иметь ясный физический смысл и возможность их оперативного расчета и интерпретации.

### Заключение

Главной целью и направленностью работ, проводимых исследователями в настоящее время в области автоматизации и интеллектуализации управления, является попытка обобщения результатов, полученных в сфере исследований интеллектуального мышления человека, автоматизации физического и умственного труда, управления сложными техническими системами, создания систем искусственного интеллекта и построения компьютерных средств интеллектуальной поддержки управления телекоммуникационными системами. Практически важным продолжением этих исследований является разработка расчетных моделей, экспертных систем и баз данных для численного анализа качества и свойств связи для компьютерных систем интеллектуальной поддержки управления телекоммуникационными системами. Как эффективный инструмент выбора структуры и параметров компьютерные средства интеллектуальной помощи могут найти применение как при планировании связи и оперативном управлении телекоммуникационными системами, так и при их проектировании и разработке. На базе информационных и аналитических моделей также могут создаваться системы автоматизированного проектирования, тренажеры и обучающие средства управления телекоммуникационными системами.

Современное развитие исследований в области связи, информатики и кибернетики привело к появлению огромного количества взаимосвязанных научных направлений и самых разнообразных их практических приложений в сфере телекоммуникаций. Поэтому количество научных теорий, методов и практических результатов, полученных в этой области науки и техники, настолько велико. Несмотря на такое многообразие достижений, все полученные результаты имеют одну конечную цель – создание цифровых глобально интегрированных телекоммуникационных систем устойчивых к деструктивным воздействиям, в которых максимально автоматизирован физический и умственный труд людей, занятых управлением информационным обменом.

### Литература

1. Советский энциклопедический словарь. – М.: Советская энциклопедия, 1985. – 1600 с.
2. Галкин В. А., Григорьев Ю. А. Телекоммуникации и сети. – М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана. 2003. – 607 с.
3. Сахнин А. А., Игнатенков В. Г. Информационно-телекоммуникационные сети. М.: «Радиотехника». 2012. 335 с.
4. Бусленко Н. П., Калашников В. В., Коваленко И. Н. Лекции по теории сложных систем. – М.: «Советское радио», 1973. – 441 с.
5. Шпак В. Ф., Директоров Н. Ф., Мирошников В. И., Навойцев С. П., Наумов В. Н., Серегин А. В., Синещюк Ю. И. Информационные технологии в системах управления силами ВМФ. – СПб.: «Элмор», 2005. – 832 с.
6. Николашин Ю. Л., Мирошников В. И., Кулешов И. А., Талагаев В. И. Управление связью соединений разнородных сил ВМФ в условиях радиоэлектронного подавления // Техника средств связи. 2021. № 3 (155). С. 22-25.
7. Директоров Н. Ф., Дорошенко В. И., Житов Ю. И., Завалишин А. А., Мирошников В. И., Мясников О. Г., Нероба Г. С., Ничиков А. В., Соловьев И. В., Шпак В. Ф. Автоматизация управления и связь в ВМФ. – СПб.: «Элмор». 2001. – 512 с.
8. Николашин Ю. Л., Винокур М. В. Системы управления в корабельных комплексах связи. Этапы развития и пути совершенствования // Техника средств связи. 2020. № 1 (149). С. 1-15.
9. Гольштейн Б. С., Ехриель И. М., Рерле Р. Д. Интеллектуальные сети. – М.: «Радио и связь». 2000. – 501 с.

10. Шелухин О. И. Моделирование информационных систем. – М.: Горячая линия-Телеком, 2011. – 536 с.
11. Акулов В. С., Талагаев В. И., Угрик Л. Н. Методология оценки влияния преднамеренных помех на радиотехнические системы // Техника средств связи. 2021. № 3 (155). С. 2-8.
12. Мирошников В. И., Кулешов И. А., Талагаев В. И. Экспертная система оценки помехозащищенности ДКМ радиоканалов ВМФ // Техника средств связи. 2018. № 3 (143). С. 86-91.
13. Мирошников В. И., Кулешов И. А., Талагаев В. И. Модель анализа помехозащищенности направления связи с морскими объектами. Часть 1 // Морская радиоэлектроника. 2018. № 2 (64). С. 34-37.
14. Мирошников В. И., Кулешов И. А., Талагаев В. И. Модель анализа помехозащищенности направления связи с морскими объектами. Часть 2 // Морская радиоэлектроника. 2018. № 3 (65). С. 44-47.
15. Азгальдов Г. Г., Дайхман Э. П. О квалиметрии. – М.: Изд. Стандартов, 1973. – 172 с.

### References

1. The Soviet Encyclopedic dictionary. Moscow. The Soviet Encyclopedia publ. 1985. 1600 p. (in Russian)
2. Galkin V. A., Grigoriev Yu. A. Telecommunications and Networks. Moscow. Publishing House of the Bauman Moscow State Technical University. 2003. 607 p. (in Russian)
3. Sakhnin A. A., Ignatenkov V. G. Information and telecommunication networks. Moscow. Publishing house "Radio Engineering". 2012. 335 p. (in Russian).
4. Buslenko N. P., Kalashnikov V. V., Kovalenko I. N. Lectures on the theory of complex systems. Moscow. "Soviet Radio" publ. 1973. 441 p. (in Russian).
5. Shpak V. F., Directors N. F., Miroshnikov V. I., Navoytsev S. P., Naumov V. N., Seregin A. V., Sineshchuk Yu. I. Information technologies in the control systems of the Navy. St. Petersburg. "Elmore" publ. 2005. 832 p.
6. Nikolashin Yu. L., Miroshnikov V. I., Kuleshov I. A., Talagaev V. I. Communication management of formations of heterogeneous forces of the Navy in conditions of electronic suppression. Means of communication Equipment. 2021. №3 (155). Pp. 22-25 (in Russian).
7. Directorov N. F., Doroshenko V. I., Zhitov Yu. I., Zavalishin A. A., Miroshnikov V. I., Myasnikov O. G., Neroba G. S., Nichikov A. V., Soloviev I. V., Shpak V. F. Control automation and communications in the Navy. St. Petersburg. "Elmore" publ. 2001. 512 p. (in Russian).
8. Nikolashin Yu. L., Vinokur M. V. Control systems in ship communication systems. Stages of development and ways of improvement. Means of communication Equipment 2020. № 1 (149). Pp. 1-15. (in Russian).
9. Holstein B. S., Echriel I. M., Rerle R. D. Intellectual networks. Moscow. "Radio and Communications" publ. 2000. 501 p. (in Russian).
10. Shelukhin O. I. Modeling of information systems. Moscow. 2011. 536 p. (in Russian).
11. Akulov V. S., Talagaev V. I., Ugrik L. N. Methodology for assessing the impact of intentional interference on radio engineering systems. Means of communication Equipment. 2021. № 3 (125). Pp. 2-8. (in Russian).
12. Miroshnikov V. I., Kuleshov I. A., Talagaev V. I. Expert system for assessing interference control of DKM radio channels of the Navy. Means of communication Equipment. 2018. № 3 (143). Pp. 86-91. (in Russian).
13. Miroshnikov V. I., Kuleshov I. A., Talagaev V. I. Model of noise immunity analysis of the direction of communication with offshore facilities. Part 1. Marine Radio Electronics. 2018. № 2 (64). Pp. 34-37. (in Russian).
14. Miroshnikov V. I., Kuleshov I. A., Talagaev V. I. Model of noise immunity analysis of the direction of communication with offshore facilities. Part 2. Marine radio electronics. 2018. № 3 (65). Pp. 44-47. (in Russian).
15. Azgaldov G. G., Deichman E. P. On qualimetry. Moscow. Standards publ. 1973. 172 p. (in Russian).

Статья поступила 18 ноября 2022 г.



### Информация об авторах

*Мирошников Валентин Иванович* – Генеральный конструктор ПАО «Интелтех». Доктор технических наук, профессор, Заслуженный деятель науки Российской Федерации. Область научных интересов: синтез телекоммуникационных систем. Тел.: +7 (812)295-66-66. E-mail: inteltech@inteltech.ru.

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

*Талагаев Владимир Иванович* – Ведущий научный сотрудник ПАО «Интелтех». Кандидат технических наук, старший научный сотрудник, профессор Академии военных наук. системы связи, навигации и управления специального назначения. Тел. +7(812) 448-96-50. E-mail: intelteh@inteltech.ru.

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

### Trends and features of the development of modern telecommunication systems

V. I. Miroshnikov, I. A. Kuleshov, V. I. Talagaev

**Annotation:** *Advances in microelectronics, computing and digital technologies have opened up an information superhighway to create modern telecommunication systems of various purposes and scales. Communication systems become complex multi-component hardware and software entities capable of providing multi-service services for the exchange of heterogeneous information in conditions of destabilizing and destructive influences. For the successful design and creation of such systems, it is necessary to take into account the main directions and features of their development and the conditions for practical use. The purpose and direction of this work is to analyze and generalize the results obtained in the field of research on the evolution of telecommunications, the historical experience of their creation based on the use of innovative information transmission and processing methods, automation software and hardware and intelligent communication control. The results of the performed analysis can be useful as a methodological apparatus in the design and selection of the architecture of new telecommunication systems and the means of managing systems in conditions of destabilizing and destructive influences.*

**Keywords:** *telecommunication system, digital communication channel, communication management, control automation, management intellectualization, intelligent management support, information and analytical models, expert system.*

### Information about the authors

*Miroshnikov Valentin Ivanovich* – General Designer of PJSC «Inteltech». Doctor of Technical Sciences, Professor. Science Honored Worker of the Russian Federation. Research interests: synthesis of telecommunication systems. Tel.: +7 (812) 295-66-66. E-mail: inteltech@inteltech.ru.

*Kuleshov Igor Aleksandrovich* – The deputy of general director of PJSC "Inteltech" on scientific work. Doctor of Technical Sciences, Associate Professor. Research interests: communication, navigation and control systems for special purposes. Tel.: +7 (812) 542-90-54. E-mail: KuleshovIA@inteltech.ru.

*Talagaev Vladimir Ivanovich* – Candidate of Technical Sciences. Senior Researcher, professor of the Academy of Military Sciences. Leading researcher at PJSC «Inteltech». Research interests: communication, navigation and control systems for special purposes. Tel. +7 (812) 448-96-50. E-mail: intelteh@inteltech.ru.

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

**Для цитирования:** Мирошников В. И., Кулешов И. А., Талагаев В. И. Тенденции и особенности развития современных телекоммуникационных систем // Техника средств связи. 2022. № 4 (160). С. 8-16. DOI: 10.24412/2782-2141-2022-4-8-16.

**For citation:** Miroshnikov V. I., Kuleshov I. A., Talagaev V. I. Trends and features of the development of modern telecommunication systems. Means of communication Equipment. 2022. № 4 (160). Pp 8-16. DOI: 10.24412/2782-2141-2022-4-8-16 (in Russian).

**МОДЕЛИРОВАНИЕ СЛОЖНЫХ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

УДК 004.75

DOI: 10.24412/2782-2141-2022-4-17-30

**Моделирование передачи трафика IP по радиосети КВ диапазона с помощью Network Simulator NS-2**

Молокович И. А.

**Аннотация. Постановка задачи:** рассмотрены проблемы, связанные с передачей интернет пакетов по радиосетям коротковолнового диапазона и возможные пути их решения. **Целью работы** является реализация разработанной модели передачи пакетов Internet Protocol по радиосети коротковолнового диапазона в программном симуляторе network simulator ns-2 и проведение исследований пропускной способности радиосети. **Используемые методы:** имитационное моделирование с помощью программного симулятора телекоммуникационных сетей network simulator ns-2. **Новизна** состоит в том, что в реализации разработанной модели сети коротковолновой радиосвязи с помощью программного симулятора network simulator ns-2 используется прокси-сервер транспортного уровня. **Результат** заключается в том, что исследована пропускная способность коротковолновой радиосети при различных размерах сегмента сети, вероятности ошибки на бит и скорости передачи в радиоканале при использовании прокси-сервера и без него. **Практическая значимость:** полученные с помощью программного симулятора network simulator ns-2 результаты позволяют определить оптимальный с точки зрения пропускной способности размер сегмента сети для различной скорости передачи и вероятности ошибки на бит в радиоканале при использовании прокси-сервера и без него.

**Ключевые слова:** радиосеть, диапазон коротких волн, Internet Protocol, прокси-сервер, network simulator ns-2.

В настоящее время широкое применение средств радиосвязи в различных звеньях управления зависит от того, в какой мере они поддерживают доставку трафика IP (Internet Protocol) в рамках архитектуры сети связи. При использовании средств радиосвязи коротковолнового (КВ) диапазона необходимо решать такие проблемы, как задержка и качество обслуживания. В статье сначала рассмотрены характерные проблемы сетевых коммуникаций по беспроводным каналам на основе протокола IP. Далее рассмотрены известные методы эффективной связи на основе протокола IP в таких условиях и показано, как новые технологии могут повысить эффективность радиоканалов КВ диапазона для передачи сетевого трафика IP.

Существуют различные подходы к обеспечению передачи в радиоканалах КВ диапазона сообщений различных приложений, таких как мультимедиа (в первую очередь файлов изображений), электронная почта (потенциально с большими вложениями файлов и возможностями сохранения и пересылки), а также управляющей информации [1]. Приложения управления являются важными элементами растущего ассортимента приложений, которые должны поддерживать сети связи различных звеньев управления, использующие стандартные протоколы TCP/IP для обмена данными по разнородным средам передачи, включая как проводные, так и беспроводные подсети. Протоколы TCP/IP налагают особые требования и ограничения на механизмы физического и канального уровней, используемые для доставки сетевого трафика. Необходимые решения этих проблем для радиосвязи КВ диапазона еще только разрабатываются.

Связь в тактическом звене управления – это область, в которой технология КВ радиосвязи может быть особенно полезна; однако растущее внедрение доктрин сетецентрической войны [2] влечет за собой то, что успешное применение технологии КВ

радиосвязи в этой области потребует разумных подходов к предоставлению трафика *TCP/IP* через радиоканалы КВ диапазона.

Для доставки трафика *IP* преимущественно используется один из двух протоколов транспортного уровня: *TCP*, который обеспечивает надежную службу доставки, ориентированную на подключение, или *UDP*, предоставляющий службу дейтаграмм без подключения. Недавние исследования этих двух протоколов показывают, что на *TCP* по-прежнему приходится значительная часть объема трафика, в диапазоне от 70 до 90 %, а остальная часть почти полностью приходится на *UDP* [3]. Трафик *TCP* состоит в основном из трафика *HTTP/S*, в то время как трафик *UDP* включает трафик *DNS* и, все чаще, потоковые медиа, хотя значительная часть потокового медиаконтента также доставляется по протоколу *TCP* [4]. Преобладание *TCP* можно объяснить тем, что он обеспечивает функциональность – надежную доставку по заказу – удовлетворяющую требованиям значительного большинства трафика приложений. Если разработчики приложений по какой-либо причине отказываются от использования *TCP*, им обычно требуется разработать протокол прикладного уровня, обеспечивающий эту функциональность. Механизмы контроля перегрузки, встроенные в *TCP*, также играют важную роль в стабилизации сетей *TCP/IP*; по существу, обходя эти механизмы и используя *UDP* вместо *TCP*, потенциально можно усложнить управление сетью [5].

Было замечено, что беспроводные линии связи создают особые проблемы для доставки *TCP*-трафика из-за их относительно ограниченных скоростей передачи данных, высоких задержек доставки и значительных частот ошибок в канале [6, 8]. Поскольку высокочастотные линии связи проявляют эти характеристики во многих случаях в еще большей степени, чем другие беспроводные носители, доставка *TCP*-трафика по КВ радиоканалам, как было замечено, является особенно сложной задачей [7]. По этим причинам наметилась тенденция избегать использования *TCP* поверх беспроводных носителей, предпочитая вместо этого использовать *UDP* для приложений, разработанных специально для использования в беспроводных сценариях. Это может быть эффективным подходом при условии, что специально разработанные протоколы прикладного уровня, используемые этими приложениями, эффективно работают через беспроводные каналы. Однако эта стратегия имеет потенциально серьезные недостатки:

- это ограничивает сети поддержкой только специально разработанных приложений, не позволяя предоставить возможности доставки, характерные для всех приложений;

- разработчики приложений должны попытаться предусмотреть все разнообразие беспроводных сред, через которые может использоваться приложение, и оптимизировать свои протоколы с учетом характеристик этих сред, что является задачей, выходящей за рамки набора навыков и проблем типичных разработчиков приложений;

- если разработчики систем беспроводной связи пытаются предоставить возможности передачи данных, оптимизированные для доставки трафика приложений *TCP/IP*, их задача значительно усложняется требованием настройки и оптимизации их средств передачи данных для протоколов, используемых новыми приложениями.

По этим причинам было бы весьма полезно, если бы можно было разработать и внедрить в радиосистемы достаточно эффективные механизмы беспроводной доставки *TCP*-трафика. Если бы это было успешным, будущие разработчики приложений были бы освобождены от необходимости разрабатывать специализированные протоколы прикладного уровня. Кроме того, применимого подмножества этих методов может быть достаточно и для эффективной доставки беспроводного *UDP*-трафика, где это необходимо.

*RFC 3135* [9] описывает различные методы прокси-сервера, повышающие производительность – *Performance Enhancing Proxy (PEP)*, предназначенные для устранения некоторых недостатков в производительности *TCP*, возникающих на каналах с высокой задержкой, в частности на спутниковых каналах. Широко используемые компоненты *PEP*

используют такие методы, как разделение соединений и подмена *TCP*, для смягчения сквозных ухудшений производительности из-за увеличения задержки и потери пакетов [10]. Эти методы были достаточно хорошо проверены для спутниковых линий связи, однако количество сообщений об опыте использования таких методов по радиоканалам КВ диапазона довольно ограничено.

Рассмотрим более подробно применение прокси-серверов для повышения производительности. Прокси-серверы для повышения производительности (*PEP*) – это сетевые агенты, предназначенные для улучшения сквозной производительности некоторых протоколов связи. Стандарты *PEP* определены в *RFC 3135* (*PEP*, предназначенные для смягчения связанных с каналом деградаций) и *RFC 3449* (влияние асимметрии сетевого пути на производительность протокола *TCP*).

*PEP* может функционировать на любом уровне стека протоколов, но обычно используются реализации *PEP*, функционирующие на транспортном или прикладном уровнях. Кроме того, *PEP* может работать на канальном уровне или на нескольких уровнях стека протоколов. Большинство реализаций *PEP* транспортного уровня взаимодействуют с протоколом *TCP* (*TCP PEP*). *TCP PEP* может использоваться для изменения интервала подтверждений с целью повышения производительности, а также для изменения поведения *TCP*-соединения путем генерации локальных подтверждений сегментам данных *TCP* с целью повышения пропускной способности соединения. *PEP* прикладного уровня может иметь такую же функциональность, как и прокси-сервер прикладного уровня, но расширенную для оптимизации работы прикладного протокола.

Доступные реализации *PEP* используют разные методы для повышения производительности. *PEP* может либо «разбивать» соединение, либо «отслеживать» его. В первом случае прокси-сервер притворяется противоположной конечной точкой соединения в каждом направлении, буквально разделяя соединение на два. В последнем случае прокси-сервер управляет передачей сегментов *TCP* в обоих направлениях путем фильтрации и восстановления подтверждений в существующем соединении.

Реализация *TCP* с разделенным соединением завершает *TCP*-соединение, полученное от конечной системы, и устанавливает соответствующее *TCP*-соединение с другой конечной системой. В распределенной реализации *PEP* это обычно делается для того, чтобы использовать третье соединение между двумя *PEP*, оптимизированными для связи этих конечных систем. Это может быть *TCP*-соединение, оптимизированное для данного канала связи, или это может быть другой протокол, например, проприетарный, работающий поверх протокола *UDP*. Кроме того, распределенная реализация может использовать отдельное соединение между прокси-серверами для каждого *TCP*-соединения или данные из нескольких *TCP*-соединений могут мультиплексироваться через одно соединение между *PEP*.

*PEP* могут быть интегрированными или распределенными. Интегрированный *PEP* будет работать на одном устройстве, в то время как распределенный *PEP* должен быть установлен на обеих сторонах канала, что приведет к снижению производительности.

Реализация *PEP* может быть симметричной или асимметричной. Симметричные *PEP* используют идентичное поведение в обоих направлениях. Действия, предпринимаемые *PEP*, происходят независимо от того, от какого интерфейса получен пакет. Асимметричные *PEP* работают по-разному в каждом направлении, что может привести, например, к повышению производительности только в одном направлении линии связи.

Прокси-сервер *Snoop* [9] является примером интегрированного прокси-сервера. Представляет собой протокол канального уровня с поддержкой протокола *TCP*. Он разработан, чтобы скрыть помехи или потерю пакетов по причине коллизий в беспроводном канале. Прокси-серверы *Snoop* обнаруживают потери, отслеживая передачи протокола *TCP* на предмет дублирования подтверждений. Когда прокси-сервер *Snoop* получает

дублирующие подтверждения протокола *TCP*, указывающие на потерю пакета, они будут отброшены без уведомления, а потерянный пакет данных будет повторно передан. *TCP*-отправитель не должен знать о потере, это должно предотвратить ненужное уменьшение *TCP*-отправителями окна *TCP*.

Для имитации передачи данных протоколом транспортного уровня *TCP* с использованием *network simulator ns-2* необходимо написать сценарий *Tcl ns-2*. В [11] с использованием *ns-2* проведено моделирование пакетной радиосети со скоростью передачи 1200 бит/с и задержкой передачи 2 мс. Представлена структура сценария *Tcl ns-2*, который имитирует передачу файлов с использованием протоколов *FTP* и *TCP Reno* по пакетной радиосети. Ниже обсуждаются основные инструкции сценария *Tcl ns-2*, необходимые для имитации передачи данных по протоколам *FTP* и *TCP* с использованием прокси-сервера *Snoop* через радиосеть КВ диапазона.

КВ радиосеть, которая моделируется с использованием *ns-2*, характеризуется скоростью передачи  $1200 \div 9600$  бит/с [7], задержкой передачи  $8 \div 12$  мс и вероятностью ошибки на бит  $10^{-3} \div 10^{-4}$ . На рис. 1 показана физическая топология этой сети, в то время как на рис. 2 показана логическая топология этой сети. Логическая топология, показанная на рис. 2, будет моделироваться с помощью *ns-2*.

Физическая топология, показанная на рис. 1, включает четыре узла. Логическая топология, показанная на рис. 2, включает узлы отправителя и получателя, два транзитных узла, прокси-сервер *Snoop*, а также модуль битовой ошибки, который подключен к соединению между отправителем и получателем и имитирует ошибки в радиоканале.

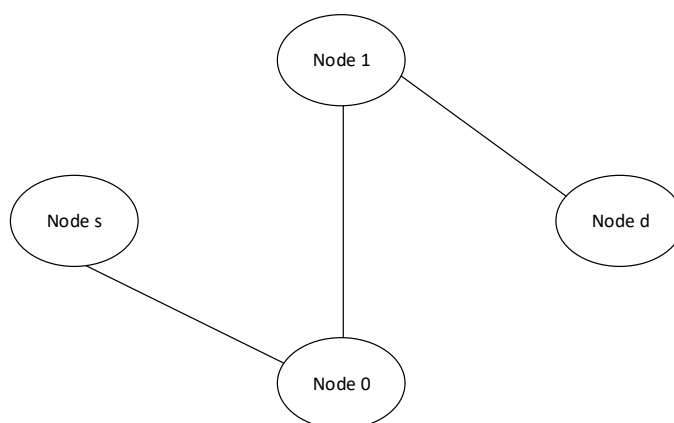


Рис. 1. Физическая топология радиосети

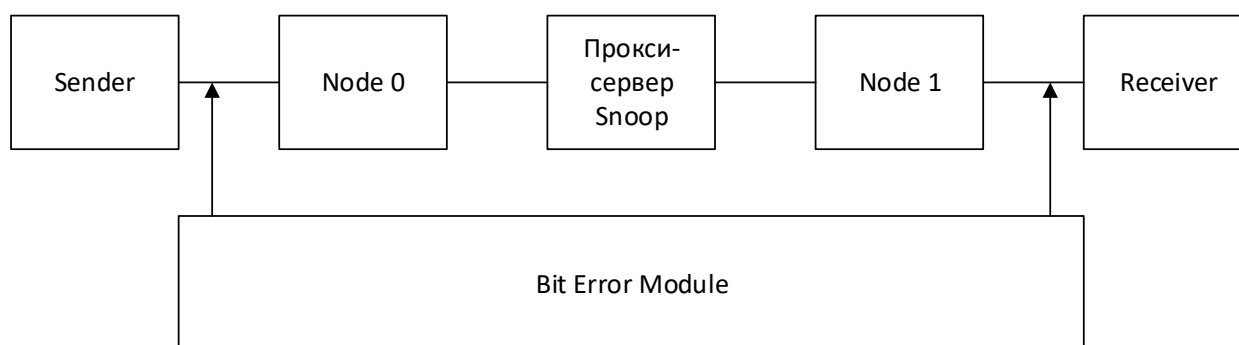


Рис. 2. Логическая топология радиосети

На рис. 3 показан сценарий *Tcl ns-2*, который имитирует передачу файла с использованием топологии, показанной на рис. 2. Скорость передачи и задержка передачи составляют 1200 бит/с и 10 мс соответственно. Цифры в начале каждой строки на рис. 3

являются номерами строк. Они включены здесь в целях иллюстрации и не являются фактическими инструкциями *Tcl*.

```

1 proc finish {} {
2     global ns
3     global filed
4     $ns flush-trace
5     close $filed(tr)
6     close $filed(namtr)
7     exec awk -f pdr_tcp.awk prn_snoop.tr &
8     exec awk -f overhead_dv.awk prn_snoop.tr &
9     exec nam prn.nam &
10    exit 0
11 }
12 puts "sourcing ../lan/vlan.tcl..."
13 source ~/ns-allinone-2.34/ns-2.34/tcl/lan/vlan.tcl
14 source ~/ns-allinone-2.34/ns-2.34/tcl/lan/ns-mac.tcl
15 set opt(start_time) 0.0
16 set opt(stop_time) 50.0
17 set opt(bw) 1200; # transmission rate
18 set opt(del) 0.01; # transmission delay
19 set opt(ifq) Queue/DropTail
20 set opt(error_unit) bit
21 set opt(error_rate) 0.0001; # The bit error rate
22 set opt(file_size) 65536
23 set opt(sgmt_size) 1024; # the TCP agent's packetSize
24 set opt(ack_size) 40
25 set opt(max_win_size) 65536;
26 set opt(src) TCP/Reno
27 set opt(sink) TCPSink
28 set opt(app) FTP
29 set opt(node) 2
30 set opt(mac) Mac/802_3
31 set opt(chan) Channel
32 set opt(ll) LL/LLSnoop
33 set ns [new Simulator]
34 set filed(tr) [open "prn_snoop.tr" w]
35 $ns trace-all $filed(tr)
36 set filed(namtr) [open "prn-snoop.nam" w]
37 $ns namtrace-all $filed(namtr)
38 proc create-topology {} {
39     global ns opt
40     global lan node s d
41     set num $opt(node)
42     for {set i 1} {$i < $num} {incr i} {
43         set node($i) [$ns node]
44         lappend nodelist $node($i)
45     }
46     set lan [$ns make-lan $nodelist $opt(bw) \
47         $opt(delay) $opt(ll) $opt(ifq) $opt(mac) $opt(chan)]
48     set opt(ll) LL/LLSnoop
49     set opt(ifq) Queue/DropTail
50     $opt(ifq) set limit_ 100
51 # set up snoop agent

```

```

52     set node(0) [$ns node]
53     $lan addNode [list $node(0)] $opt(bw) $opt(delay) $opt(l1) $opt(ifq) $opt(mac)
54 # set source and connect to node(0)
55     set s [$ns node]
56     $ns duplex-link $s $node(0) 1200 0.002 DropTail
57     $ns queue-limit $s $node(0) 65536
58     $ns duplex-link-op $s $node(0) orient right
59 # set dest and connect to node(1)
60     set d [$ns node]
61     $ns duplex-link $node(1) $d 1200 0.002 DropTail
62     $ns queue-limit $node(1) $d 65536
63     $ns duplex-link-op $d $node(1) orient left
64 }
65 create-topology
66 set error_model [new ErrorModel]
67 $error_model unit $opt(error_unit)
68 $error_model set rate_ $opt(error_rate)
69 $error_model ranvar [new RandomVariable/Uniform]
70 $error_model drop-target [new Agent/Null]
71 $error_model datapktsize $opt(sgmt_size)
72 $error_model cntrlpktsize opt(ack_size)
73 $ns lossmodel $error_model $s $node(0)
74 set error_model [new ErrorModel]
75 $error_model unit $opt(error_unit)
76 $error_model set rate_ $opt(error_rate)
77 $error_model ranvar [new RandomVariable/Uniform]
78 $error_model drop-target [new Agent/Null]
79 $error_model datapktsize $opt(sgmt_size)
80 $error_model cntrlpktsize opt(ack_size)
81 $ns lossmodel $error_model $d $node(1)
82 Agent/TCP set packetSize_ $opt(sgmt_size)
83 Agent/TCPSink set packetSize_ $opt(ack_size)
84 Agent/TCP set window_ [expr $opt(max_win_size) / $opt(sgmt_size)];# window size
85 Agent/TCP set windowInit_ 1;           # initial window size
86 set color(0) red
87 $ns color 0 $color(0)
88 # Set a TCP connection
89 set tcp0 [new Agent/TCP/Reno]
90 $tcp0 set backoff_ 2
91 $ns attach-agent $s $tcp0
92 set tcp_snk0 [new Agent/TCPSink]
93 $ns attach-agent $d $tcp_snk0
94 $ns connect $tcp0 $tcp_snk0
95 set ftp0 [$tcp0 attach-app $opt(app)]
96 set num_segs [expr $opt(file_size) / $opt(sgmt_size)]
97 set rem [expr $opt(file_size) % $opt(sgmt_size)]
98 if {$rem != 0} { set num_segs [expr $num_segs + 1]}
99 if {$num_segs == 0} { set num_segs 1 }
100 $ns at $opt(start_time) "$ftp0 produce $num_segs"
101 $ns at $opt(stop_time) "finish"
102 $ns run
103 exit 0

```

Рис. 3. Пример сценария *ns-2 Tcl* для передачи файлов с использованием протоколов *FTP* и *TCP Reno* с *PEP*

Процедура завершения, указанная в строках 1-11 рис. 3, вызывается *ns-2* по окончании моделирования. Симулятор *ns-2* заканчивает работу на строке 103 рис. 3. Процедура завершения удаляет данные, еще не записанные в файлы трассировки, как указано в *filed(tr)* и *filed(namtr)*, закрывает оба файла трассировки, а затем завершает работу. В строках 15-32 рис. 3 определен ассоциативный массив с именем *opt()*. Значения, помещенные в *opt()*, будут использоваться позже в сценарии *Tcl*. Значения для *opt(file\_size)*, *opt(sgmt\_size)*, *opt(ack\_size)* и *opt(max\_win\_size)* указаны в байтах (строки 22-25 рис. 3).

Строка 26 рис. 3 определяет *opt(src)* как агент *TCP*, используемый во время моделирования. Значение, которое используется для целей моделирования, – это *TCP/Reno*. Симулятор *ns-2* позволяет моделировать несколько других агентов *TCP*, включая *TCP* (т. е. обычный *TCP*), *TCP/NewReno*, *TCP/Vegas*, *TCP/Sack1* и *TCP/Fack*. В строке 33 рис. 3 определен экземпляр имитатора *ns-2*. Поскольку *C++* и *OTcl* являются объектно-ориентированными языками, это означает, что был создан объект класса симулятора *ns-2*.

В строках 34-37 рис. 3 открывается файл трассировки и файл трассировки *nam*, чтобы принять данные трассировки, сгенерированные симулятором *ns-2*, а также инициализируется средство трассировки *ns-2*.

В строках 38-64 рис. 3 определена процедура создания топологии сети. Строки 39-45 определяют создание узлов отправителя *s*, получателя *d* и двух промежуточных узлов, заданных параметром *opt(node)*. Строки 46-47 задают характеристики виртуального канала, образованного прокси-сервером *Snoop*. Строка 48 задает использование на канальном уровне протокола *Snoop* с поддержкой протокола *TCP*. Строки 52-53 определяют создание узла (0) с агентом *Snoop* и виртуального канала между узлами (0) и (1). Строки 55-58 рис. 3 определяют создание узла-отправителя и характеристики подключения к узлу (0). Аналогично строки 60-63 рис. 3 определяют создание узла-получателя и характеристики подключения к узлу (1). Определена пропускная способность, *opt(bw)*, задержка передачи, *opt(del)* и тип очереди интерфейса, *opt(ifq)*, а длина очереди установлена в 64 Кбайта.

В строке 65 рис. 3 запускается процедура создания топологии сети.

В строках 66-73 рис. 3 описано создание модели ошибок для данных, которые передаются между отправителем и узлом (0), в строках 74-81 рис. 3 описано создание модели ошибок для данных, которые передаются между узлом (1) и получателем. Модель ошибки будет действовать как устройство помех, показанное на рис. 1. Частота битовых ошибок определяется переменной *opt(error\_rate)* в строке 21. Частота ошибок 0,0 означает, что данные не повреждены во время передачи. Частота ошибок 0,0001 (т. е. 1,0e-04) указывает, что 1 бит из 10 000 будет поврежден при равномерном распределении.

Строки 82-85 рис. 3 определяют переменные размера пакетов агента *TCP*, *window\_* (т. е. размер окна) и *windowInit\_* (т. е. начальный размер окна). Переменные *opt(sgmt\_size)*, *opt(ack\_size)* и *opt(max\_win\_size)* необходимы для определения этих значений. Значения по умолчанию для *packetSize\_*, *window\_* и *windowInit\_* равны 1000, 20 и 1 соответственно [12]. Эти значения также определены в файле *ns-2/tcl/lib/ns-default.tcl* из дистрибутива *UNIX/Linux ns-2*.

Определение цвета передачи данных, как показано программой визуализации *nam*, выполняется в строках 86-87 рис. 3. Можно определить множество цветов, включая красный (как показано), синий, фиолетовый, оранжевый или черный. В общем случае «имя цвета должно быть одним из имен, перечисленных в базе данных цветов в *X11 (/usr/X11/lib/rgb.txt)*» [12].

Агент *TCP* определен в строке 89 рис. 3. В частности, агент *TCP/Reno* подключается к узлу (0), отправителю, а *TCPSink* подключается к узлу (1), получателю. В строке 95 рис. 3 определено приложение *FTP*, которое подключается к агенту *TCP*, определенному в строке 89.

По умолчанию *FTP*-приложение *ns-2* непрерывно генерирует и передает новый пакет каждый раз, когда получает подтверждение для любого пакета в окне перегрузки. Передача пакетов продолжается до тех пор, пока не наступит время остановки, как определено параметром *opt(stop\_time)* в строке 101 рис. 3. В строках 96-99 рис. 3 определено максимальное



количество пакетов, которые должно передавать приложение *FTP*, и оно основано на размере файла и размере сегмента. Здесь размер сегмента и размер пакета являются синонимами. Как минимум, один сегмент будет передан приложением *FTP* (строка 99).

Строка 100 рис. 3 определяет время, в которое приложение *FTP* начнет передавать сегменты. Как указывалось ранее, время, в которое закончится моделирование *ns-2*, указано в строке 101 рис. 3. Это значение хранится в переменной *opt(stop\_time)*. Математически уравнение для времени передачи может быть использовано для определения значения *opt(stop\_time)*. Строка 102 рис. 3 запускает моделирование *ns-2*, а строка 103 рис. 3 завершает сценарий *Tcl*.

Сценарий *Tcl*, показанный на рис. 3, имеет множество переменных; каждой из них может быть присвоено несколько значений. Выполнение симулятора *ns-2* по сценарию *Tcl*, показанному на рис. 3, представляет собой «запуск» с использованием этих переменных. Чтобы изменить значение переменной, необходимо открыть файл сценария *Tcl*, внести конкретное изменение, сохранить и закрыть файл, а симулятор *ns-2* повторно запустить в файле сценария *Tcl*. В оболочке *UNIX* командой для выполнения сценария *Tcl ns-2* является *\$ns prn\_snoop.tcl*, где *\$* – приглашение оболочки *UNIX*, *ns* – двоичный файл, а *prn\_snoop.tcl* – имя файла, содержащего сценарий *Tcl ns-2*.

Файл трассировки *ns-2*, показанный на рис. 4 и 5, был сгенерирован сценарием *Tcl*, показанным на рис. 3 (протоколы *FTP* и *TCP Reno*). Файл трассировки *ns-2* получает данные, сгенерированные симулятором *ns-2* во время выполнения. В строках 25 и 26 рис. 3 открыт файл трассировки *ns-2* с именем “*out.tr*”. Средство трассировки *ns-2* инициализируется для записи выходных данных в этот файл. В строках 27 и 28 открывается файл трассировки *ns-2 nam*, и средство трассировки *ns-2* инициализируется для генерации выходных данных трассировки *ns-2 nam*.

Как упоминалось ранее в этой статье, предлагается дополнительный пакет программного обеспечения *ns-2*, который позволяет исследователям визуально просматривать результаты моделирования *ns-2*. То есть *nam* интерпретирует данные в файле трассировки *nam* (т. е. *out.nam*) и отображает выходные данные графически. Выходные данные, содержащиеся в файлах трассировки *nam*, могут помочь отлаживать сценарии *Tcl ns-2*.

Как и на рис. 3, на рис. 4 показан ориентированный слева номер, помогающий идентифицировать конкретные строки файла трассировки. Все записи (т. е. строки) в файле трассировки *ns-2* состоят из 12 полей. Первое поле (т. е. начало строки) – это либо символ «+», «-», либо «r». Символ «+» указывает операцию постановки сегмента в очередь, а символ «-» определяет операцию удаления сегмента из очереди. Операции постановки в очередь и удаления из очереди выполняются в источнике. Символ «r» указывает операцию приема сегмента, которая выполняется в пункте назначения.

Во втором поле указывается время, в которое произошла операция в симуляторе *ns-2*. Третье и четвертое поля численно определяют, какой узел является передатчиком (т. е. первым из двух чисел), а какой – получателем (т. е. вторым из двух чисел). Пятое поле показывает описательное имя, которое представляет тип передаваемого пакета (т. е. *tcp* или *ack*). Шестое поле показывает размер сегмента в байтах, как закодировано в заголовке протокола *IP*.

Седьмое поле представляет собой список из семи флагов (не более), который описывает конкретную строку. Четыре следующих флага используются для определения *ECN* (явное уведомление о перегрузке) в *TCP/IP*. Флаг “*E*” используется для указания «Возникшей перегрузки», флаг “*N*” указывает «Индикации транспорта с поддержкой *ENC* в заголовке *IP*», флаг “*C*” указывают “*ECN-эхо*”, а флаг “*A*” используется для указания «Окно перегрузки уменьшено в заголовке *TCP*». Можно определить два дополнительных флага: “*P*” для «Приоритета» и “*F*” для «Быстрого запуска *TCP*».

```

1  + 0 3 2 tcp 40 ----- 0 3.0 4.0 0 0
2  - 0 3 2 tcp 40 ----- 0 3.0 4.0 0 0
3  r 0.043333 3 2 tcp 40 ----- 0 3.0 4.0 0 0
4  h 0.043333 2 1 tcp 40 ----- 0 3.0 4.0 0 0
5  + 0.053333 2 1 tcp 40 ----- 0 3.0 4.0 0 0
6  - 0.053333 2 1 tcp 40 ----- 0 3.0 4.0 0 0
7  r 0.116671 1 0 tcp 40 ----- 0 3.0 4.0 0 0
8  + 0.116671 0 4 tcp 40 ----- 0 3.0 4.0 0 0
9  - 0.116671 0 4 tcp 40 ----- 0 3.0 4.0 0 0
10 r 0.160004 0 4 tcp 40 ----- 0 3.0 4.0 0 0
11 + 0.160004 4 0 ack 40 ----- 0 4.0 3.0 0 1
12 - 0.160004 4 0 ack 40 ----- 0 4.0 3.0 0 1
13 r 0.203337 4 0 ack 40 ----- 0 4.0 3.0 0 1
14 h 0.203337 0 1 ack 40 ----- 0 4.0 3.0 0 1
15 + 0.213337 0 1 ack 40 ----- 0 4.0 3.0 0 1
16 - 0.213337 0 1 ack 40 ----- 0 4.0 3.0 0 1
17 r 0.276675 1 2 ack 40 ----- 0 4.0 3.0 0 1
18 + 0.276675 2 3 ack 40 ----- 0 4.0 3.0 0 1
19 - 0.276675 2 3 ack 40 ----- 0 4.0 3.0 0 1
20 r 0.320008 2 3 ack 40 ----- 0 4.0 3.0 0 1

```

Рис. 4. Пример файла трассировки *ns-2*

Восьмое поле определяет идентификатор потока протокола *IP* как указано в протоколе *IP* версии 6. В девятом и десятом полях указываются числовые адреса узла источника и узла назначения, в то время как в одиннадцатом поле указывается порядковый номер. Начиная с *ns-2*, версия 2, это делают только агенты, желающие генерировать порядковые номера. Двенадцатое и последнее поле представляет уникальный идентификационный номер пакета.

Строки 1-20 рис. 4 показывают передачу первых двух сегментов, связанных с 3-сторонним рукопожатием протокола *TCP*. Завершение «рукопожатия» происходит, когда первый сегмент в 1500 байт передается от узла 3 (узел *s* в сценарии *Tcl* на рис. 3) к узлу 4 (узел *d* в сценарии *Tcl* на рис. 3) через узлы 2, 1 и 0 (узлы 0, прокси-сервер *Snoop* на узле 0 и узел 1 соответственно в сценарии *Tcl* на рис. 3) в строках 21-68 (рис. 5). Сегмент размером 1500 байта состоит из 1460 байт данных и 40-байтового заголовка. Строки 41, 42, 47, 48-50, 65-68 показывают подтверждения, отправленные узлами получателями узлам отправителям в ответ на получение сегмента.

В [7] приведены результаты измерений, выполненных для различных приложений стека протоколов *TCP/IP*, работающих по КВ радиоканалу с использованием протокола *IP* и *STANAG 5066*. На основании выполненных измерений делается вывод о том, что использование протокола *IP* значительно снижает производительность. Альтернативный подход заключается в использовании прокси-сервера и специализированных протоколов.

С помощью представленного выше сценария *Tcl* были произведены измерения производительности фрагмента радиосети при передаче файла размером 65536 байт по протоколу *FTP*, скорости в радиоканале 1200, 9600 бит/с, размере *TCP*-сегмента 500, 1500 байт, задержке в радиоканале 10 мс, вероятности ошибки на бит  $10^{-3}$ ,  $10^{-4}$  без использования прокси-сервера *Snoop* (табл. 1) и с использованием прокси-сервера *Snoop* (табл. 2). Размер сегмента *TCP* выбран исходя из типичных значений размера *MTU* (*Maximum Transmission Unit*), которые составляют 500 байт для широкополосного трафика и 1500 байт для трафика локальной сети [7].

21 + 0.320008 3 2 tcp 1500 ----- 0 3.0 4.0 1 2  
22 - 0.320008 3 2 tcp 1500 ----- 0 3.0 4.0 1 2  
23 + 1.280008 3 2 tcp 1500 ---A--- 0 3.0 4.0 1 3  
24 - 1.570008 3 2 tcp 1500 ---A--- 0 3.0 4.0 1 3  
25 r 1.580008 3 2 tcp 1500 ----- 0 3.0 4.0 1 2  
26 h 1.580008 2 1 tcp 1500 ----- 0 3.0 4.0 1 2  
27 + 1.590008 2 1 tcp 1500 ----- 0 3.0 4.0 1 2  
28 - 1.590008 2 1 tcp 1500 ----- 0 3.0 4.0 1 2  
29 + 2.680641 2 1 tcp 1500 ----- 0 3.0 4.0 1 2  
30 r 2.830008 3 2 tcp 1500 ---A--- 0 3.0 4.0 1 3  
31 h 2.830008 2 1 tcp 1500 ---A--- 0 3.0 4.0 1 3  
32 + 2.840008 2 1 tcp 1500 ---A--- 0 3.0 4.0 1 3  
33 - 2.861675 2 1 tcp 1500 ----- 0 3.0 4.0 1 2  
34 r 2.861679 1 0 tcp 1500 ----- 0 3.0 4.0 1 2  
35 + 2.861679 0 4 tcp 1500 ----- 0 3.0 4.0 1 2  
36 - 2.861679 0 4 tcp 1500 ----- 0 3.0 4.0 1 2  
37 + 3.200008 3 2 tcp 1500 ---A--- 0 3.0 4.0 1 4  
38 - 3.200008 3 2 tcp 1500 ---A--- 0 3.0 4.0 1 4  
39 + 3.930641 2 1 tcp 1500 ----- 0 3.0 4.0 1 2  
40 r 4.121679 0 4 tcp 1500 ----- 0 3.0 4.0 1 2  
41 + 4.121679 4 0 ack 40 ----- 0 4.0 3.0 1 5  
42 - 4.121679 4 0 ack 40 ----- 0 4.0 3.0 1 5  
43 - 4.133341 2 1 tcp 1500 ---A--- 0 3.0 4.0 1 3  
44 r 4.133345 1 0 tcp 1500 ----- 0 3.0 4.0 1 2  
45 + 4.133345 0 4 tcp 1500 ----- 0 3.0 4.0 1 2  
46 - 4.133345 0 4 tcp 1500 ----- 0 3.0 4.0 1 2  
47 r 4.165012 4 0 ack 40 ----- 0 4.0 3.0 1 5  
48 h 4.165012 0 1 ack 40 ----- 0 4.0 3.0 1 5  
49 + 4.175012 0 1 ack 40 ----- 0 4.0 3.0 1 5  
50 - 4.175012 0 1 ack 40 ----- 0 4.0 3.0 1 5  
51 r 4.460008 3 2 tcp 1500 ---A--- 0 3.0 4.0 1 4  
52 h 4.460008 2 1 tcp 1500 ---A--- 0 3.0 4.0 1 4  
53 + 4.470008 2 1 tcp 1500 ---A--- 0 3.0 4.0 1 4  
54 r 5.393345 0 4 tcp 1500 ----- 0 3.0 4.0 1 2  
55 + 5.393345 4 0 ack 40 ----- 0 4.0 3.0 1 6  
56 - 5.393345 4 0 ack 40 ----- 0 4.0 3.0 1 6  
57 - 5.405008 2 1 tcp 1500 ----- 0 3.0 4.0 1 2  
58 r 5.405012 1 0 tcp 1500 ---A--- 0 3.0 4.0 1 3  
59 + 5.405012 0 4 tcp 1500 ---A--- 0 3.0 4.0 1 3  
60 - 5.405012 0 4 tcp 1500 ---A--- 0 3.0 4.0 1 3  
61 r 5.436679 4 0 ack 40 ----- 0 4.0 3.0 1 6  
62 h 5.436679 0 1 ack 40 ----- 0 4.0 3.0 1 6  
63 + 5.446679 0 1 ack 40 ----- 0 4.0 3.0 1 6  
64 - 5.49502 0 1 ack 40 ----- 0 4.0 3.0 1 6  
65 r 5.495024 1 2 ack 40 ----- 0 4.0 3.0 1 5  
66 + 5.495024 2 3 ack 40 ----- 0 4.0 3.0 1 5  
67 - 5.495024 2 3 ack 40 ----- 0 4.0 3.0 1 5  
68 r 5.538357 2 3 ack 40 ----- 0 4.0 3.0 1 5

Рис. 5. Продолжение файла трассировки *ms-2*

Таблица 1

№ п/п	Скорость, бит/с	Размер <i>TCP</i> -сегмента, байт	Вероятность ошибки на бит	Пропускная способность, бит/с
1	1200	500	$10^{-4}$	1160
2	9600	500	$10^{-4}$	9200
3	1200	500	$10^{-3}$	200
4	9600	500	$10^{-3}$	1000
5	1200	1500	$10^{-4}$	870
6	9600	1500	$10^{-4}$	5500
7	1200	1500	$10^{-3}$	-
8	9600	1500	$10^{-3}$	-

Таблица 2

№ п/п	Скорость, бит/с	Размер <i>TCP</i> -сегмента, байт	Вероятность ошибки на бит	Пропускная способность, бит/с
1	1200	500	$10^{-4}$	1000
2	9600	500	$10^{-4}$	6800
3	1200	500	$10^{-3}$	470
4	9600	500	$10^{-3}$	600
5	1200	1500	$10^{-4}$	1100
6	9600	1500	$10^{-4}$	5200
7	1200	1500	$10^{-3}$	600
8	9600	1500	$10^{-3}$	500

Анализ полученных результатов показывает, что использование прокси-сервера *Snoop* позволяет повысить пропускную способность на скорости 1200 бит/с для размера *TCP*-сегмента 500 байт при вероятности ошибки на бит  $10^{-3}$  и для размера сегмента 1500 байт при вероятности ошибки на бит  $10^{-3}$  и  $10^{-4}$ , на скорости 9600 бит/с повышение пропускной способности происходит при размере *TCP*-сегмента 1500 байт и вероятности ошибки на бит  $10^{-3}$ .

Без использования прокси-сервера практически нет обмена при размере сегмента 1500 байт, вероятности ошибки на бит  $10^{-3}$  на скоростях 1200 и 9600 бит/с.

При использовании прокси-сервера и вероятности ошибки на бит  $10^{-3}$  для скорости 1200 бит/с максимальная пропускная способность достигается при размере *TCP*-сегмента 1500 байт, на скорости 9600 бит/с максимальная пропускная способность достигается при размере *TCP*-сегмента 500 байт. Причем значения пропускной способности на скоростях 1200 и 9600 бит/с при размере *TCP*-сегмента 500 и 1500 байт отличаются незначительно.

В начале моделирования значение пропускной способности колеблется скачкообразно, с увеличением времени моделирования пропускная способность сходится к максимальным значениям и далее остается практически неизменной (рис. 6).

Полученные значения пропускной способности при вероятности ошибки на бит  $10^{-3}$  значительно ниже, чем приведенные в [7] при таких же значениях *MTU*. В [7] максимальная пропускная способность 5104 бит/с достигается при размере *MTU* 1500 байт на скорости 9600 бит/с, на скорости 1200 бит/с максимальная пропускная способность 798 бит/с достигается при размере *MTU* 1500 байт.

При использовании прокси-сервера и вероятности ошибки на бит  $10^{-4}$  для скорости 1200 бит/с максимальная пропускная способность достигается при размере *TCP*-сегмента 1500 байт, а на скорости 9600 бит/с максимальная пропускная способность достигается при размере *TCP*-сегмента 500 байт. Полученные значения пропускной способности при вероятности ошибки на бит  $10^{-4}$  сопоставимы с значениями, приведенными в [7] при таких же значениях *MTU*. Без прокси-сервера при увеличении вероятности ошибки на бит до  $10^{-3}$  обмен данными есть только при размере сегмента 500 байт.

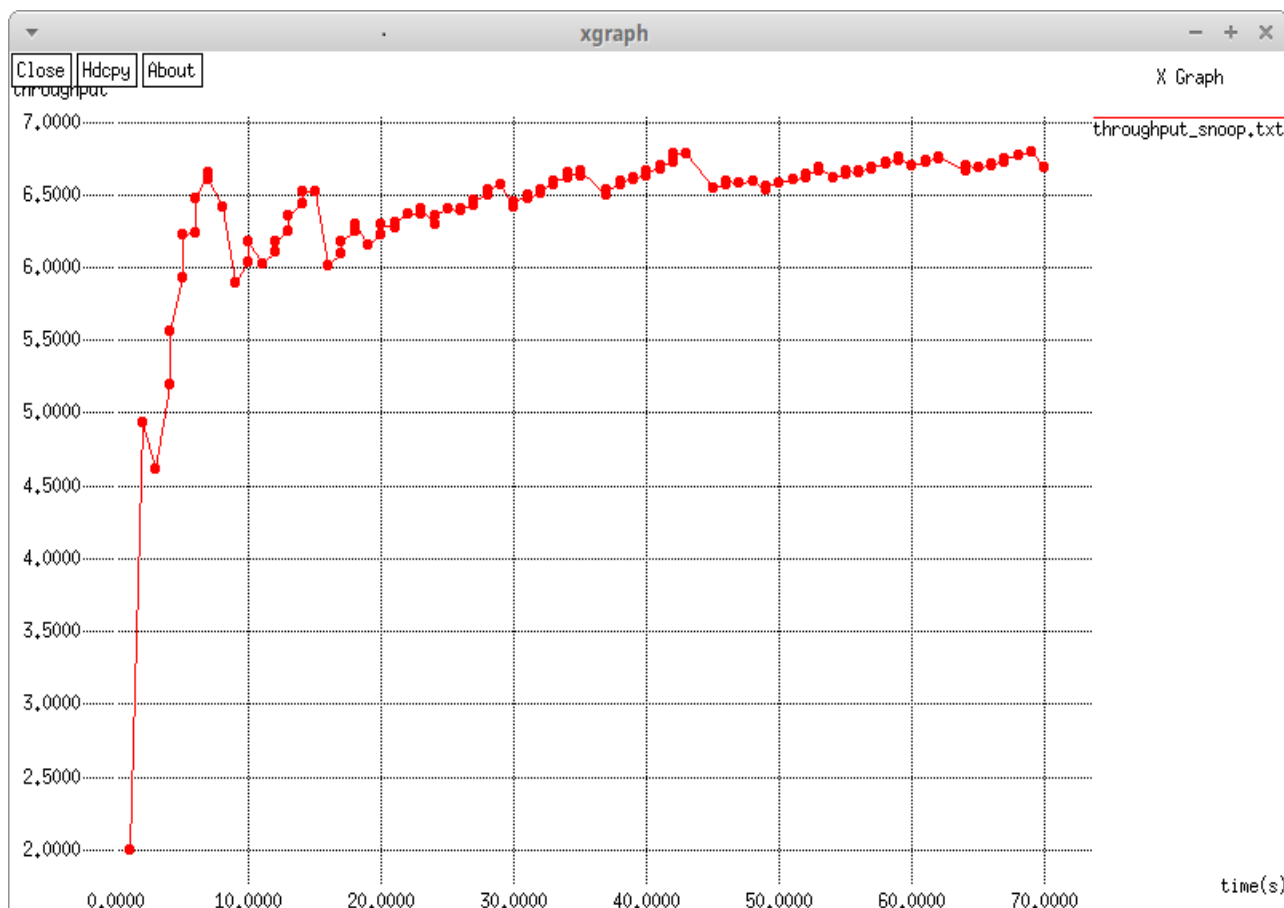


Рис. 6. Зависимость пропускной способности радиоканала со скоростью 9600 бит/с, размере *TCP*-сегмента 500 байт, вероятности ошибки на бит  $10^{-4}$  с использованием прокси-сервера *Snoop* от времени передачи

### Литература

1. Киринос А. А., Коржаков Д. А., Потапов И. В., Хайрулин Т. Р. Автоматизация обмена электронной почтой в коротковолновом радиоканале // *Техника радиосвязи*. 2019. Вып. 4 (43). С. 7–13. Режим электронного доступа <http://oniir.ru/upload/iblock/fla/Киринос%20и%20др..pdf>. (Дата обращения 03 июня 2022 г.).
2. Макаренко С. И., Иванов М. С. Сетевая война – принципы, технологии, примеры и перспективы. Монография. – СПб.: Научно-технические технологии, 2018. – 898 с. Режим электронного доступа [https://sccs.intelgr.com/editors/Makarenko/Makarenko\\_Ivanov-Netcentric\\_wars.pdf](https://sccs.intelgr.com/editors/Makarenko/Makarenko_Ivanov-Netcentric_wars.pdf). (Дата обращения 02 июня 2022 г.).
3. Alessandro Finamore et al, “Experiences of Internet Traffic Monitoring with Tstat,” *IEEE Network*, May/June 2011. Режим электронного доступа <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.720.4035&rep=rep1&type=pdf>. (Дата обращения 30 мая 2022 г.).
4. Dongjin Lee et al, “Media Streaming Observations: Trends in UDP to TCP Ratio,” *International Journal on Advances in Systems and Measurements*, vol 3 no 3 & 4, 2010. Режим электронного доступа <https://www.cs.auckland.ac.nz/~brian/media-UDP-TCP.pdf>. (Дата обращения 30 мая 2022 г.).
5. Van Jacobson and Michael Karels, “Congestion Avoidance and Control,” *Proceedings of ACM SIGCOMM '88*, pages 314–329, August 1988. Режим электронного доступа <http://ccr.sigcomm.org/archive/1995/jan95/ccr-9501-jacobson.pdf>. (Дата обращения 30 мая 2022 г.).
6. George Xylomenos et al, “TCP Performance Issues over Wireless Links,” *IEEE Communications Magazine*, April 2001. Режим электронного доступа <https://mm.aueb.gr/publications/2001-TCP-Comms.pdf>. (Дата обращения 30 мая 2022 г.).

7. Performance Measurements of Applications using IP over HF Radio. Режим электронного доступа <https://www.isode.com/whitepapers/performance-of-ip-applications-over-hf-radio.html>. (Дата обращения 03 июня 2022 г.).
8. H. Balakrishnan, S. Seshan, E. Amir, R. Katz, "Improving TCP/IP Performance over Wireless Networks," Proc. 1st ACM Conference on Mobile Communications and Networking (Mobicom), Berkeley, California, November 1995. Режим электронного доступа [https://www.researchgate.net/publication/234781455\\_Improving\\_TCPIP\\_performance\\_over\\_Wireless\\_Networks](https://www.researchgate.net/publication/234781455_Improving_TCPIP_performance_over_Wireless_Networks). (Дата обращения 08 июня 2022 г.).
9. IETF RFC 3135, "Performance Enhancing Proxies Intended to Mitigate Link-Related Degradations," June 2001. Режим электронного доступа <https://tools.ietf.org/html/rfc3135>. (Дата обращения 27 мая 2022 г.).
10. Igor Bisio, Mario Marchese, and Maurizio Mongelli. Performance Enhanced Proxy Solutions for Satellite Networks: State of the Art, Protocol Stack and Possible Interfaces. Режим электронного доступа [https://www.researchgate.net/publication/225267154\\_Performance\\_Enhanced\\_Proxy\\_Solutions\\_for\\_Satellite\\_Networks\\_State\\_of\\_the\\_Art\\_Protocol\\_Stack\\_and\\_Possible\\_Interfaces/link/54a67eaa0cf257a6360977f5/download](https://www.researchgate.net/publication/225267154_Performance_Enhanced_Proxy_Solutions_for_Satellite_Networks_State_of_the_Art_Protocol_Stack_and_Possible_Interfaces/link/54a67eaa0cf257a6360977f5/download) (Дата обращения 06 июня 2022 г.).
11. Paul D. Wiedemeier, Clarke M. Williams. Performance Modeling of TCP and UDP over Packet Radio Networks using the ns-2 Network Simulator. Режим электронного доступа <https://www.researchgate.net/publication/239840595>. (Дата обращения 09 июня 2022 г.).
12. Kevin Fall, Kannan Varadhan. The Manual (formerly Notes and Documentation). The VINT Project A collaboration between researchers at UC Berkeley, LBL, USC/ISI, and Xerox PARC, Nov 5, 2011 (ns-2.35). Режим электронного доступа <https://www.isi.edu/nsnam/ns/doc/node396.html>. (Дата обращения 09 июня 2022 г.).

### References

1. Automation of e-mail exchange in a short-wave radio channel / A. A. Kirnosov, D. A. Korzhakov, I. V. Potapov, T. R. Khairulin // Radio communication Technology. 2019. Issue 4 (43). pp. 7-13. Electronic access mode <http://oniip.ru/upload/iblock/f1a/Киросов%20и%20др..pdf>. (03.06.2022 г.). (in Russian).
2. Makarenko S.I., Ivanov M.S. Network-centric warfare - principles, technologies, examples and prospects. Monograph. – St. Petersburg: Science-intensive technologies, 2018. - 898 p. Electronic access mode [https://sccs.intelgr.com/editors/Makarenko/Makarenko\\_Ivanov-Netcentric\\_wars.pdf](https://sccs.intelgr.com/editors/Makarenko/Makarenko_Ivanov-Netcentric_wars.pdf). (02.06.2022 г.). (in Russian).
3. Alessandro Finamore et al, "Experiences of Internet Traffic Monitoring with Tstat," IEEE Network, May/June 2011. Electronic access mode <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.720.4035&rep=rep1&type=pdf>. (30.05.2022 г.).
4. Dongjin Lee et al, "Media Streaming Observations: Trends in UDP to TCP Ratio," International Journal on Advances in Systems and Measurements, vol 3 no 3 & 4, 2010. Electronic access mode <https://www.cs.auckland.ac.nz/~brian/media-UDP-TCP.pdf>. (30.05.2022 г.).
5. Van Jacobson and Michael Karels, "Congestion Avoidance and Control," Proceedings of ACM SIGCOMM '88, pages 314–329, August 1988. Electronic access mode <http://ccr.sigcomm.org/archive/1995/jan95/ccr-9501-jacobson.pdf>. (30.05.2022 г.).
6. George Xylomenos et al, "TCP Performance Issues over Wireless Links," IEEE Communications Magazine, April 2001. Electronic access mode <https://mm.aueb.gr/publications/2001-TCP-Comms.pdf>. (30.05.2022 г.).
7. Performance Measurements of Applications using IP over HF Radio. Electronic access mode <https://www.isode.com/whitepapers/performance-of-ip-applications-over-hf-radio.html>. (03.06.2022 г.).
8. H. Balakrishnan, S. Seshan, E. Amir, R. Katz, "Improving TCP/IP Performance over Wireless Networks," Proc. 1st ACM Conference on Mobile Communications and Networking (Mobicom), Berkeley, California, November 1995. Electronic access mode [https://www.researchgate.net/publication/234781455\\_Improving\\_TCPIP\\_performance\\_over\\_Wireless\\_Networks](https://www.researchgate.net/publication/234781455_Improving_TCPIP_performance_over_Wireless_Networks). (08.06.2022).
9. IETF RFC 3135, "Performance Enhancing Proxies Intended to Mitigate Link-Related Degradations," June 2001. Electronic access mode <https://tools.ietf.org/html/rfc3135>. (27.05.2022).

10. Igor Bisio, Mario Marchese, and Maurizio Mongelli. Performance Enhanced Proxy Solutions for Satellite Networks: State of the Art, Protocol Stack and Possible Interfaces. Electronic access mode [https://www.researchgate.net/publication/225267154\\_Performance\\_Enhanced\\_Proxy\\_Solutions\\_for\\_Satellite\\_Networks\\_State\\_of\\_the\\_Art\\_Protocol\\_Stack\\_and\\_Possible\\_Interfaces/link/54a67eaa0cf257a6360977f5/download](https://www.researchgate.net/publication/225267154_Performance_Enhanced_Proxy_Solutions_for_Satellite_Networks_State_of_the_Art_Protocol_Stack_and_Possible_Interfaces/link/54a67eaa0cf257a6360977f5/download). (06.06.2022).

11. Paul D. Wiedemeier, Clarke M. Williams. Performance Modeling of TCP and UDP over Packet Radio Networks using the ns-2 Network Simulator. Electronic access mode <https://www.researchgate.net/publication/239840595>. (06.06.2022).

12. Kevin Fall, Kannan Varadhan. The Manual (formerly Notes and Documentation). The VINT Project A collaboration between researchers at UC Berkeley, LBL, USC/ISI, and Xerox PARC, Nov 5, 2011 (ns-2.35). Electronic access mode <https://www.isi.edu/nsnam/ns/doc/node396.html>. (09.06.2022).

Статья поступила 20 ноября 2022 г.

### Информация об авторе

Молокович Игорь Аркадьевич – кандидат технических наук, доцент, ведущий инженер ПАО «Интелтех». Область научных интересов: телекоммуникационные сети; алгоритмы и протоколы маршрутизации. Тел.: +7 921-344-24-29. E-mail: igor-molokovich@yandex.ru.

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

## Simulation of IP traffic transmission over a HF radio network using Network Simulator NS2

I. A. Molokovich

**Annotation. Problem statement:** the problems associated with the transmission of IP packets over HF radio networks and possible solutions are considered. **The purpose of the work** is to implement the developed model for transmitting IP packets over a HF radio network in the network simulator ns-2 software simulator and to conduct research on the bandwidth of the radio network. **Methods used:** simulation modeling using a software simulator of telecommunication networks Network Simulator (NS-2). **The novelty** lies in the fact that a proxy server of the transport layer is used in the implementation of the developed model of the radio communication network using the network simulator ns-2 software simulator. **The result** is that the bandwidth of the radio network has been investigated for various TCP segment sizes, the probability of error per bit and the transmission rate in the radio channel when using a proxy server and without it. **Practical significance:** the results obtained using the network simulator ns-2 software simulator allow us to determine the optimal TCP segment size in terms of bandwidth for different transmission rates and the probability of an error per bit in the radio channel when using a proxy server and without it.

**Keywords:** radio network, HF band, Internet Protocol, proxy server, network simulator ns-2.

### Author information

Molokovich Igor Arkadievich – candidate of technical Sciences, associate Professor, leading engineer of PJSC "Inteltech". Research interests: telecommunication networks; routing algorithms and protocols. Tel: +7 921 344 24 29. E-mail: igor-molokovich@yandex.ru

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

**Для цитирования:** Молокович И. А. Моделирование передачи трафика IP по радиосети КВ диапазона с помощью Network Simulator NS-2 // Техника средств связи. 2022. № 4 (160). С. 17-30. DOI: 10.24412/2782-2141-2022-4-17-30.

**For citation:** Molokovich I. A. Simulation of IP traffic transmission over a HF radio network using Network Simulator NS2. Means of Communication Equipment. 2022. No. 4 (160). Pp. 17-30. DOI: 10.24412/2782-2141-2022-4-17-30. (in Russian).

УДК 621.396.6

DOI: 10.24412/2782-2141-2022-4-31-44

### Основные принципы в оценке технического уровня сложных технических систем

Севастьянов С. И.

**Аннотация. Постановка задачи:** в целях повышения обоснованности принимаемых управленческих решений при создании, выборе перспективных сложных технических систем необходимо проведение оценки качества системных решений и технического уровня этих систем. Современный методический аппарат оценки технического уровня недостаточно учитывает всю полноту технических характеристик комплексов и систем связи, рассматриваемых как сложные технические системы, не в полной мере позволяет заранее оценить последствия каждого технического решения о разработке, эксплуатации новых изделий, основанных на зарождающихся прорывных технологиях. В результате проведенных исследований выявлено явное противоречие между ограниченностью возможностей существующих методических разработок на количество оцениваемых показателей технического уровня (качества, эффективности) и практически необходимым их количеством для получения достоверной оценки технического уровня. Это характеризует указанное противоречие как проблемное. Одним из путей к разрешению данной проблемы является постановка задачи по формированию основных принципов в оценке технического уровня сложных технических систем без ограничения количества учитываемых показателей. **Цель работы** заключается в повышении достоверности оценок технического уровня комплексов и систем связи, как сложных технических систем, в различных задачах их оценивания, условиях и аспектах. **Новизна работы:** Разработаны основные принципы в оценке технического уровня сложных технических систем без ограничения количества учитываемых показателей. С целью проведения оценки технического уровня однородных сложных технических систем разных поколений и модификаций, реализуемых на существующих и перспективных информационно-технических технологиях, изготавливаемых рядом предприятий и используемых в разнообразных условиях, проведена классификация этих систем на однородные сложные технические системы одного и разных поколений, одной и разных модификаций. Универсальность оценки этих систем обусловлена учётом в операциях выбора номенклатуры показателей как тождественных, так и не тождественных множеств показателей однородных сложных технических систем. Изложен принцип группирования показателей технического уровня на основные, существенные и несущественные показатели, реализация которого позволяет ранжировать показатели технического уровня по степени их влияния на достижение технического совершенства систем. Для повышения чувствительности определяющего показателя технического уровня сложных технических систем предложено комплексное взаимоувязанное применение коэффициентов весомости, порогового коэффициента вето и коэффициентов значимости в зависимости от задач, аспектов и условий проведения оценок технического уровня. **Результат:** сформирован подход к оценке технического уровня сложных технических систем без ограничения количества учитываемых показателей. **Практическая значимость** заключается в использовании изложенных принципов в оценке технического уровня сложных технических систем при создании и совершенствовании моделей и методик в данной области, результаты применения которых вносят вклад в достижение высокого уровня технического совершенства и повышение технической эффективности функционирования сложных технических систем.

**Ключевые слова:** оценка технического уровня, принципы в оценке технического уровня, сложные технические системы, многокритериальная задача, определяющий показатель технического уровня.



### Введение

Современные технические системы и комплексы связи следует относить к сложным техническим системам (СТС) [1-5]. Такие системы обладают сложной структурой построения, обеспечивают решение большого количества функциональных задач, имеют сложный параметрический образ, который включает в себя большое количество технических характеристик.

В целях повышения обоснованности принимаемых управленческих решений при создании, выборе перспективных сложных технических систем необходимо проведение оценки качества технических решений и технического уровня (ТУ) образцов СТС. Достоверность этой оценки достигается использованием соответствующих апробированных математических методов, адекватностью разработанных моделей и способов оценки, а также учётом, по возможности, наиболее полного количества факторов и условий, показателей и параметров (технических характеристик) оценки качества и ТУ СТС. За критерий оценки таковых сложных технических систем предлагается выбирать технический уровень, как в наибольшей степени и наиболее всесторонне характеризующий современные комплексы и системы связи с точки зрения их технического совершенства и новизны [2, 4, 6].

Согласно (ГОСТ 15467-79 Управление качеством продукции. Основные понятия. Термины и определения (с Изменением №1). – Москва, 1985):

*– техническое совершенство продукции – совокупность существенных свойств продукции, определяющих ее качество и характеризующих научно-технические достижения в развитии данного вида продукции;*

*– технический уровень продукции – относительная характеристика качества продукции, основанная на сопоставлении значений показателей, характеризующих техническое совершенство оцениваемой продукции, с соответствующими базовыми значениями;*

*– оценка технического уровня продукции – совокупность операций, включающая выбор номенклатуры показателей, характеризующих техническое совершенство оцениваемой продукции, определение значений этих показателей и сопоставление их с базовыми.*

Современный методический аппарат оценки технического уровня недостаточно учитывает всю полноту технических характеристик сложных технических систем, не в полной мере позволяет заранее оценить последствия каждого технического решения о разработке, эксплуатации новых СТС, основанных на прорывных зарождающихся технологиях, внедрением которых занимаются предприятия оборонно-промышленного комплекса в рамках выполнения и государственного оборонного заказа, и государственной программы Российской Федерации «Развитие оборонно-промышленного комплекса» на очередной программный период.

Задачей статьи является разработка основных принципов в оценке технического уровня сложных технических систем одного вида продукции, включающей выбор всей совокупности их технических характеристик. Предлагаемые принципы призваны определить пути снятия ограничений на количество (номенклатуру) используемых критериев, свойств и показателей оцениваемых однородных СТС [5, 8], которые могут быть исполнены на одинаковых и разных технологиях, относятся к разным поколениям и модификациям, характеризоваться большими тождественными и нетождественными множествами существенных [4, 7] и несущественных показателей ТУ [4].

Под видом продукции понимается совокупность изделий (образцов) продукции (СТС) одного назначения и области применения [9]. Сложные технические системы, относящиеся к одному виду (группе) продукции, рассматриваются в качестве однородных СТС.

*Цель статьи* – повышение достоверности оценок технического уровня комплексов и систем связи, как сложных технических систем, в различных условиях, аспектах и задачах их оценивания.

В данной обзорной статье разработаны основные принципы, выполняющие организующую функцию по отношению ко всему массиву высказываний и научных идей, выработанными авторами [1-8, 10-18, 22, 25] в данной области науки, имеющие соответствующие обоснования. Разработанные принципы предлагаются к применению в качестве основы при постановке научных исследований, включающих проведение оценок технического уровня сложных технических систем без ограничения учитываемых показателей.

### **Основные принципы в оценке технического уровня сложных технических систем без ограничения учитываемых показателей**

**1) В основу научно-методического аппарата многокритериальной оценки технического уровня сложных технических систем, характеризующихся большим количеством показателей, положен метод системного анализа (*принцип системности*)**

Анализ литературы [1-26] показывает, что технический уровень определяется путем сопоставления значений технических характеристик (показателей) оцениваемого изделия с соответствующими значениями технических характеристик аналога или базового изделия, отражающих мировые достижения и тенденции их развития. Под базовым изделием понимается реальное или гипотетическое изделие продукции, наделенное сбалансированной совокупностью реально достижимых значений показателей ТУ и качества, принятых для сравнения [6, 19].

В источнике [20] отмечено, что при оценке ТУ однородной продукции, изделий (изделий одного вида, одного класса и назначения) следует использовать дифференциальный, комплексный или смешанный, а также интегральный метод оценки и статистический метод. Для оценки ТУ разнородной продукции (изделий) обычно применяют метод на основе индексации качества.

Для однородной продукции чаще всего упоминают два направления методов оценки технических изделий, основанных либо на применении обобщенного (определяющего) показателя технического уровня [6, 21, 23], либо на попарном сравнении с применением дифференциального метода сопоставления показателей оцениваемого изделия и аналога (базового изделия) [6, 21, 23, 26].

Дифференциальный метод путем сопоставления единичных показателей оцениваемого изделия с единичными показателями базовых изделий методом попарного сравнения по таблице ТУ [21] или по области соответствия [26] позволяет сделать выводы: оцениваемая продукция превосходит, равноценна или уступает базовому образцу [26]. Однако дифференциальный метод не позволяет сделать однозначный вывод о техническом уровне объекта, в случае если сравниваемые изделия по одному или нескольким показателям лучше и, в то же время, хуже по остальным [21]. В этом случае используют комплексный метод оценки ТУ, который выражается одним обобщенным показателем (ОПК), определяющим показателем технического уровня (ОПТУ) [4] сравниваемых объектов, по которым принято оценивать их качество и ТУ [21].

Существующие способы и методические аппараты, применяемые в сравнительных оценках сложных систем, ориентированы на оценку качества и эффективности продукции по одному (главному) или ограниченному числу показателей качества и эффективности – основных показателей. Остальные показатели выводятся в ограничения. Такой подход применительно к СТС не учитывает их полную номенклатуру существенных показателей, не обеспечивает объективную оценку технического уровня и, в целом, технического

совершенства существующих и перспективных СТС. Это может привести к нерациональным решениям в вопросах проведения перевооружения сложных систем (комплексов и систем связи), а результаты таких решений могут непосредственно ограничить возможности системы управления ВС РФ. Одной из причин такого состояния дел является отсутствие соответствующих моделей и методик оценки, ориентированных на обработку неограниченных по количеству (номенклатуре) качественных и количественных показателей, чётких и нечётких множеств показателей ТУ. Решить данную проблему можно применяя метод системного анализа, положенный в основу методического аппарата оценки ТУ СТС. Метод системного анализа существенным образом повышает качество оценки ТУ [16] изделий. Решая сложные слабо формализуемые проблемы, в том числе проблему оценки ТУ СТС без ограничения учитываемых характеристик, метод системного анализа позволяет правильно сформулировать цели и критерии оценивания, выбирать соответствующие методы формального описания СТС, определять последовательность операций по установлению структурных связей между переменными или постоянными элементами ОПТУ, выбирать аналоги однородной продукции, номенклатуру показателей, способы определения значений и сопоставления показателей с базовыми. При этом в разных операциях оценки ТУ СТС могут быть задействованы методы анализа иерархий, аналогов, расстановки приоритетов, качественной экспертной и количественной экспертной оценок, ранжирования, нечётких множеств, методы квалиметрии, а именно, комплексный и смешанный метод оценки ТУ продукции [4, 7, 10, 15-17, 21].

Для сложных технических систем (комплексов и систем связи), рассматриваемых в качестве объектов исследования, их надсистемы (системы управления, взаимодействующие надсистемы) рассматриваются в статье в качестве субъектов, характеризующиеся системными показателями (свойствами). В большинстве работ недостаточно разработан методический аппарат, учитывающий большое количество показателей ТУ объекта оценивания [5] во взаимосвязи с системными свойствами субъекта.

**2) Объект исследования (комплекс связи, система связи) рассматривается как многофункциональная, многопараметрическая сложная техническая система с учетом требований субъектов (системы управления, взаимодействующие надсистемы) (принцип требований надсистемы)**

Современные СТС нацелены и выполняют большое количество требований (задач) субъектов (вышестоящих систем управления) и, помимо основных функций назначения, выполняют достаточно много дополнительных функций (для взаимодействующих систем), и, таким образом, поддерживают требуемые уровни значений большого количества дополнительных технических показателей, системных и несистемных параметров.

Требования субъектов, предъявляемые к СТС (объектам исследования), могут быть как качественные, так и количественные. Они рассматриваются в качестве критериев для объекта ТУ [4, 6] и в ходе исследований также подвержены операциям выбора, группирования и ранжирования с целью последующего учета их влияния на оценки ТУ объектов.

**3) Определяющим показателем технического совершенства объекта исследований (разработки) принимается технический уровень (принцип определяющего показателя)**

Сложным техническим системам свойственны сложные функциональные, системные и технические архитектуры построения. Они выполняют большое количество функциональных задач, характеризуются большой номенклатурой технических

характеристик. При большом количестве существенных технических характеристик подход, заключающийся в определении главного показателя и установление его функциональной зависимости от остальных показателей (большого количества) в расчетах технического уровня СТС не применяется. В таких случаях используется комплексный метод расчета технического уровня СТС по определяющему показателю ТУ, включающего в себя средневзвешенные показатели [9]. В работе [16] обосновывается правомерность (корректность) определения определяющего (комплексного или интегрального) показателя, что математически убедительно доказано в ряде работ. Так в соответствии с выводами и рекомендациями работ [2, 4] за определяющий показатель оценки сложных систем предлагается выбирать технический уровень, как в наибольшей степени и наиболее всесторонне характеризующий эти сложные системы с точки зрения их технического совершенства и новизны. При этом следует отметить, что технический уровень, эффективность и качество продукции являются самостоятельными понятиями и должны применяться отдельно для различных аналитико-оценочных задач. Под качеством продукции (разработок) следует понимать совокупность свойств продукции, обеспечивающих её пригодность удовлетворять определенные потребности в соответствии с её назначением. В задачах оценки качества продукции чаще выделяют основные группы показателей качества: назначения, надежности, экономного использования ресурсов, эстетические, эргономические, экологические, безопасности, технологичности, транспортабельности, стойкости к внешним воздействиям, стандартизации и унификации, экономические. Для большинства изделий необходимо учитывать все или почти все группы показателей.

В оценках технического уровня целесообразно применение групп показателей, включающие в себя основные, существенные и несущественные показатели ТУ [4, 5]. Эти группы могут включать в свой состав показатели из различных групп показателей качества, перечисленных выше, в зависимости от целей, аспектов и условий оценки. В основу группирования, ранжирования показателей ТУ положен принцип степени влияния каждого показателя на достижение технического совершенства изделия.

Таким образом, технический уровень – это характеристика определяющая существенные свойства (внешние и внутренние) продукции, не включающая экономические показатели.

Эффективность же является функцией технического уровня [18]. Экономические показатели учитываются в области их допустимых значений при оценке технической эффективности СТС.

#### **4) Применение иерархической структуры критериев и показателей СТС в обеспечение полноты вариантов расчета определяющего показателя технического уровня (*принцип иерархии критериев*)**

Для того, чтобы задача оценки ТУ СТС была решена адекватно, достоверно (полно, объективно) необходимо учитывать не только большое количество технических показателей объекта исследований (основных, существенных и несущественных), но и достаточное количество свойств (факторов, критериев) субъекта (субъектов). Выбранный в основу оценки ТУ метод системного анализа призван обеспечить построение соответствующих иерархических структур критериев и показателей СТС заданным задачам, условиям и аспектам оценок. А применение наработок исследований [8, 13] позволяет проводить ранжирование как критериев [14], так и большого количества показателей объекта исследований [11], разбивая на соответствующие группы важности [11], устанавливая взаимосвязь весовых коэффициентов критериев (свойств), групп важности показателей ТУ и единичных показателей ТУ в этих группах. Здесь применимы методы квалиметрии, методы теории нечётких (размытых) множеств, экспертные методы и т. п.

Совершенствование способов упорядочения большого количества технических показателей по группам важности показателей ТУ (иерархические структуры) [5, 16, 17], а также применение в операциях оценки ТУ критерия размерности множеств альтернатив в экспертных оценках, проводимых методом парных сравнений [8], также способствует повышению достоверности и адекватности оценок ТУ СТС.

Взаимосвязи между тремя уровнями показателей: частными показателями ТУ, комплексными показателями групп важности показателей ТУ (КПТУ) и обобщенным показателем ТУ сложны и многообразны. Однако, если показатели динамично, адекватным образом классифицировать по их месту в группах важности показателей в зависимости от условий и аспектов задач оценивания, то эти связи будут достоверны. А дополнительный учет помимо базовых еще и не базовых показателей ТУ при сопоставлении по ТУ сложных технических систем обеспечит полноту вариантов расчета ОПТУ и в целом достоверность результатов оценки.

##### **5) Комплексное использование аддитивного и мультипликативного методов вычисления определяющего показателя технического уровня (*принцип комплексного подхода*)**

В работе [7] обосновывается преимущество аддитивного объединения частных показателей ТУ. Действительно, если сложная система вместо, например, двух функций стала выполнять одну из них, то обычно имеются веские основания утверждать, что «полезность» системы не обратилась в нуль, а лишь уменьшилась. Что и является признаком аддитивного объединения. Тогда как мультипликативные свертки этим преимуществом не обладают. Таким образом, мультипликативные методы резко восприимчивы, а аддитивные менее восприимчивы к нулевым значениям показателей ТУ, что предполагает выбор в пользу последних методов, особенно при учете большого количества показателей. Однако совместное комплексное использование аддитивного и мультипликативного методов повышает чувствительность оценки и обеспечивает необходимую достоверность и точность оценки ТУ с приоритетом учета основных и существенных показателей [9, 10]. В этом случае при комплексном методе оценки технического уровня применяются средневзвешенные показатели, наиболее подходящий – среднеарифметический показатель в сочетаниях с другими средневзвешенными.

Общий вид широко применяемого обобщенного показателя ( $K$ ) оцениваемых объектов в различных сферах деятельности вычисляется методом среднего взвешенного

$$K = \sum_{r=1}^R w_r(x) p_r(x),$$

где  $K$  – обобщенный показатель качества ( $K_K$ ), технического уровня ( $K_T$ ) и эффективности ( $K_3$ );  $R$  – количество показателей;  $w_r(x)$  – значение весового коэффициента  $r$ -го показателя;  $p_r(x)$  – относительное значение  $r$ -го показателя.

Известные способы вычисления средневзвешенных оценок имеют свои недостатки. Так способ расчета определяющего показателя ТУ по среднегармонической, который иногда рекомендуется как наилучший среди остальных средневзвешенных оценок, не определяется в вычислениях, когда один из показателей равен нулю. Этот же недостаток касается расчета определяющего показателя ТУ по среднегеометрической, который имеет такой же недостаток по сравнению с другими средневзвешенными. Расчет ОПТУ по среднегеометрической, а включаемых в ОПТУ комплексных показателей ТУ (КПТУ) по среднегармонической, лишь усложняет алгоритм расчета и его проверку. Такой подход может привести к снижению точности вычислений на 15-20 % [2].

Из известных методов получения групповой оценки по среднеарифметической, медиане, средневзвешенной, правилу большинства, правилу большинства с последующим

применением метода расстановки приоритетов, процедуре, основанной на законе сравнительных суждений, методе последовательных интервалов, методе ранга и т. п. наиболее востребованными до сих пор остаются методы анализа иерархий и расстановки приоритетов и их модификации.

**б) Универсальность оценки технического уровня сложных систем, классифицированных на однородные сложные технические системы разных поколений и модификаций, на основе учёта в операциях выбора номенклатуры показателей технического уровня как тождественных, так и не тождественных множеств показателей в группах основных, существенных и несущественных показателей (принцип универсальности оценки)**

Возможность оценки технического уровня однородных СТС разных поколений и модификаций обусловлено общностью номенклатур их показателей, классифицируемых на группы: основные, существенные и несущественные. Место показателей этих групп может меняться в зависимости от целей оценки ТУ СТС, аспектов и условий оценки [5]. Например, правомерно, что в зависимости от одних условий оценки один и тот же показатель может быть в составе группы существенных или переведен в группу несущественных показателей ТУ в других условиях. При этом количественным выражением неравнозначности этого показателя выступает его коэффициент весомости, который представляет собой следующую функцию:

$$w_r(x) = \phi(Z_{и}, A_{и}, U_{и}),$$

где  $w_r(x)$  – значение весового коэффициента показателя ТУ;  $Z_{и}$  – задачи оценки;  $A_{и}$  – аспекты оценки;  $U_{и}$  – условия оценки.

Исходя из практики, для однородных СТС разных поколений и модификаций номенклатура основных показателей (показателей назначения), как правило, не меняется. Тогда как номенклатуры существенных и несущественных показателей изменяются. Состав групп существенных и несущественных показателей СТС, номенклатуры множеств показателей СТС могут быть тождественными и нетождественными по отношению к соответствующим группам и множествам сопоставляемым аналогам или гипотетической СТС.

Существующие методические разработки по оценке ТУ изделий рекомендуют сравнивать изделия, разработанные в одном поколении и на небольшом отрезке времени. Однако, на практике для сложных технических систем, эволюция которых происходит на большом отрезке времени, ввиду отсутствия для них аналогов в одном поколении, сравнивать ТУ приходится только с гипотетическими СТС (например, совокупностью требований, заложенных в техническое задание на разработку перспективного СТС) или с их прототипами, принадлежащим разным поколениям и модификациям [22].

С целью проведения оценки технического уровня однородных сложных технических систем разных поколений и модификаций, реализуемых на существующих и перспективных информационно-технических технологиях, изготавливаемых рядом предприятий и используемых в разнообразных условиях, в статье проведена классификация этих систем на однородные сложные технические системы одного и разных поколений, одной и разных модификаций, а именно:

Под *однородными СТС одного поколения* понимаются СТС, общность которых определяется не только функциональным назначением (основными показателями), но и существенными качественными признаками (существенными показателями), характеризующими принадлежность изделия к соответствующему поколению техники (СТС).

Под *однородными СТС разных поколений* понимаются СТС, общность которых определяется функциональным назначением, но их отличие в существенных качественных

признаках, характеризует принадлежность изделия к разным (предыдущему, новому) поколениям техники (СТС).

Под *СТС разных модификаций* понимаются однородные СТС одного поколения, различающиеся во множестве (номенклатуре) несущественных показателей (параметров) ТУ, изменение значений (отсутствие) которых не влечет за собой коренного изменения СТС. Несущественные показатели (параметры) обеспечивают тот или иной уровень значений существенных показателей (параметров) ТУ СТС.

Под *СТС одной модификации* понимаются однородные СТС одного поколения, которые не различаются во множестве (номенклатуре) несущественных показателей (параметров), но в которых допускается рационализация в целом или отдельных элементов СТС для обеспечения того или иного уровня значений показателей (параметров) ТУ СТС [22].

Под *гипотетической СТС* понимается СТС, которая принята за базовую СТС и представляет как передовые современные, так и прогнозируемые научно-технические достижения в развитии однородных (данного вида, группы) СТС. Гипотетическая СТС включает в свой перечень базовых показателей (параметров) как базовые показатели (параметры) реальной существующей базовой СТС, так и перспективные (требуемые) показатели (параметры) ТУ, значения которых приняты за базовые значения. Таким образом, гипотетическая СТС может характеризоваться еще не реализованными, но достаточно обоснованными в научно-исследовательских работах перспективными показателями ТУ, отражающими новые свойства или новые уровни значений показателей ТУ СТС.

#### **7) Применение в расчетах определяющего показателя технического уровня однородных технических систем показателей, классифицированных на основные и неосновные, существенные и несущественные, значимые и незначимые, базовые и не базовые показатели технического уровня (*принцип значимости и ранжирования показателей*)**

При сравнении однородных СТС различных поколений и модификаций номенклатуры их показателей могут не совпадать [4, 9, 20, 23, 24]. Процесс сравнения оценок ТУ, сопоставляемых СТС с неравными конечными множествами показателей (параметров), требует предварительной классификации показателей ТУ по ряду признаков классификации: базовые и не базовые основные, существенные (существенные-основные и существенные-неосновные) и несущественные, базовые и небазовые, значимые и незначимые показатели ТУ [5, 11, 22]. Для большого количества показателей применимы *ступени классификации* – как этапы классификации при иерархическом методе, в результате которого получается совокупность групп важности показателей ТУ (классификационные группировки).

В задачах оценки ТУ с неограниченным количеством учитываемых показателей также требуется количественное предварительное определение малого, среднего и большого количества (множеств) показателей. Большое, среднее и малое количество (конечные множества) привлекаемых технических характеристик можно определять, применяя научный задел работы [11], по разработанному критерию размерности в работе [8].

В настоящее время оценки ТУ изделий, как правило, проводятся только по основным и редко по существенным показателям ТУ, которые могут отличаться на 10 % и более. Задача сопоставления по ТУ СТС, характеризующихся неравными (не тождественными) конечными множествами показателей ТУ, часто возникает на практике. Она требует совершенствования соответствующего научно-методического аппарата как в целом, так и в отдельных его элементах. Также актуальной является задача

совершенствования моделей учета в ОПТУ базовых и не базовых, значимых и незначимых показателей ТУ в их взаимосвязи и с учетом весовых коэффициентов и допустимых значений этих показателей. Практика проведения оценок технического уровня показывает, что значимость показателей ТУ бывает разной в зависимости от целей оценивания. Поэтому требуется в каждом конкретном аспекте и условии оценки СТС проводить операции пересмотра разбиения её показателей на значимые и незначимые и их последующего ранжирования. Необходимо совершенствование модели влияния значимых показателей на комплексные и определяющий показатели ТУ при переходе значений значимых показателей своих допустимых границ [5].

**8) Комплексное применение коэффициентов весомости, значимости и вето для обеспечения чувствительности обобщенного показателя технического уровня (*принцип чувствительности обобщенного показателя*)**

Для обеспечения чувствительности оценки технического уровня без ограничения учитываемых показателей требуется комплексное применение коэффициентов различного типа, учитывающих как вес показателей (показатель весомости) [10], так и пороговый коэффициент вето [10, 12], а также коэффициент значимости показателей ТУ для конкретных задач, аспектов и условий оценки.

Для сложных технических систем оценка ТУ без ограничения учитываемых показателей проводится по определяющему показателю [7], который включает в себя показатели единичные (частные) показатели и комплексные показатели, абсолютные значения которых имеют линейную функциональную зависимость от абсолютных значений единичных показателей изделия. В этом случае «слабым звеном» ОПТУ является то, что недостаточное значение одних характеристик может компенсироваться избыточным значением других [7, 10, 25]. Приём назначения показателям весовых коэффициентов, которые могут быть определены как правило экспертным путем [10, 15], частично устраняет этот недостаток. Процедура свертки значений частных показателей ТУ, которые характеризуются разными весовыми коэффициентами, может быть, как аддитивной, так и мультипликативной. Роль весовых коэффициентов состоит в снижении эффекта компенсации относительных значений одних показателей за счет других путем ввода соответствующих высоких и низких значений весовых коэффициентов. Место весовых коэффициентов в структуре расчета ТУ для аддитивных и мультипликативных сверток отводится в качестве множителей показателей ТУ.

Случаи, когда абсолютные и относительные значения одного или нескольких основных показателей ТУ, входящих в состав существенных показателей, оказываются в области недопустимых значений, не равных нулю, тоже требуют применение мультипликативной свертки. Для повышения чувствительности ОПТУ в его структуру вводится особая функция – «коэффициент вето».

$$K_{TC} = \varphi_{TC} [p_{cr}(x) / r \in R_C] \sum_{r=1}^{R_C} w_{cr}(x) p_{cr}(x),$$

где  $K_{TC}$  – ОПТУ, рассчитываемый по существенным показателям ТУ;

$\varphi_{TC}$  – коэффициент вето  $K_{TC}$ ;

$R(R_0, R_C)$  – количество (основных, существенных) показателей ТУ;

$w_{cr}(x)$  – значение весового коэффициента  $p_{cr}$ -го существенного показателя ТУ;

$p_{cr}(x)$  – относительное значение  $r$ -го существенного показателя ТУ.

В этом случае к преимуществу аддитивной свертки добавляется достоинство мультипликативной свертки таким образом, что за счет  $\varphi_{TC}$  обеспечивается учет выхода за абсолютные или относительные максимальные и минимальные ограничительные пределы значений показателей ТУ. Данное выражение, приведённое в качестве примера,



реагирует на выход значения любого существенного (основного) показателя ТУ изделия за пределы допустимых границ (предельных значений) переходом в состояние ноль (ОПТУ переходит в состояние ноль) и остается равной единице и не искажает результаты расчета ОПТУ при любых значениях всех этих показателей ТУ, находящихся в пределах допустимых значений. Недостатком является то, что учёт в коэффициенте вето всех существенных показателей ТУ приводит к тому, что ОПТУ за счет коэффициента вето в равной степени зависит как от существенных, включающих в себя основные ПК, так и от остальных существенных показателей ТУ, несмотря на разницу их весовых коэффициентов.

Для устранения этого недостатка при учёте больших совокупностей существенных, включающих в себя основные показатели, и несущественных показателей ТУ в расчетах значений ОПТУ вводятся коэффициенты значимости, которые определяют значимость показателей ТУ (принадлежность / не принадлежность коэффициенту вето ОПТУ) для тех или иных условий применения СТС. Коэффициент значимости, характеризует значимость показателя ТУ для конкретного аспекта, условия применения СТС, и свою функцию реализует через пороговый коэффициент вето при переходе значения значимого показателя ТУ своих допустимых границ.

#### **9) Минимизация количества экспертных операций в ходе проведения оценок с тенденцией перехода от многоразовых экспертных оценок к единичным (*принцип минимизации экспертных оценок*)**

Основные наработки в данном вопросе были произведены в прошлом веке [7, 15-17].

В системном анализе широко применяются самые разнообразные математические методы, которые в частности включают в себя методы описательной экспертной оценки (написание сценариев), качественной экспертной оценки и количественной экспертной оценки. В статье выбраны экспертные оценки, которые особенно важны при выборе сопоставляемых СТС, существенных показателей ТУ их ранжировании, а также при определении коэффициентов весомости, значимости. В целом в работе [16] показана надежность экспертных оценок и, следовательно, надежность методов их получения.

Анализ [1-26] подтверждает необходимость совершенствования методического аппарата, представляющего собой гибридную экспертную систему, сочетающую аналитические методы оценки показателей, заданных количественными характеристиками, и методы экспертной оценки, позволяющие оценивать показатели изделий, представляемые качественно [6].

Известно, что субъект (эксперты субъекта, надсистемы) определяет цели и задачи, а также назначение объекту. Субъект предъявляет основные критерии оценки качества и ТУ, которые могут быть относительно важны и не важны в зависимости от условий применения и задач объекта оценки качества и ТУ. Заданные субъектом требования, их выполнение принимаются за обобщенный субъективный критерий оценки качества объекта разработки. И в условиях развития объектов никак не может воспроизводиться автоматически.

Актуальной задачей в оценках ТУ СТС остается сведение к минимуму количества экспертных операций в целом, а перспективной задачей – «перепоручить» рутинную работу с неограниченным количеством исходных данных искусственному интеллекту.

#### **10) Применимость результатов оценки ТУ совместно со стоимостными характеристиками для оценки технической эффективности СТС при проведении их технико-экономического анализа (*принцип технико-экономического анализа и оценки*)**

В настоящее время проведение технико-экономического анализа, оценки качества, эффективности и технического уровня разрабатываемых комплексов и систем связи является

обязательным требованием ГОСТов и экспертных советов в данной области. Предложенный в статье подход и результаты соответствующих оценок технического уровня комплексов и систем связи могут быть применены при проведении технико-экономического анализа сложных технических систем; для оценки технической эффективности СТС; выбора способов построения СТС; обоснования целесообразности внедрения новых технических, технологических решений и проектов.

### Выводы

Задача разработки основных принципов в оценке технического уровня сложных технических систем без ограничения количества учитываемых показателей решена.

Совокупность представленных принципов не является окончательным, открыта к уточнениям и дополнениям.

Применение предложенных основных принципов в оценке технического уровня при создании моделей и методик оценки технического уровня сложных технических систем, а также результатов оценивания, полученных на их основе, позволит создать условия для достижения высокого уровня технического совершенства и повысить техническую эффективность функционирования сложных технических систем оборонно-промышленного комплекса.

### Литература

1. Иванов А. Ю., Полковников С. П., Ходасевич Г. Б. Военно-технические основы построения и математическое моделирование перспективных средств и комплексов автоматизации. СПб.: ВАС, 1997. 419 с.
2. Семенов С. С. Методы принятия решений в задачах оценки качества и технического уровня сложных технических систем. М.: Наука, 2016. 210 с.
3. Филин О. А. Основные аспекты модернизации образцов вооружения, военной и специальной техники как сложных технических систем // Молодой ученый. 2020. № 41 (331). С. 34-38.
4. Скрипник И. Л. Оценка технического уровня образцов военной техники связи при конкурсном размещении заказов. СПб.: ВАС, 1997. 238 с.
5. Севастьянов С. И. Обобщенная методика оценки технического уровня комплексов средств автоматизации системы обмена данными. СПб.: ЦНИИ связи, 2004. 260 с.
6. Рыков Л. Г., Бияшев Р. Г., Емшанова Е. В., Маленкова О. В. Вопросы автоматизации оценки технического уровня средств вычислительной техники // Автоматика и вычислительная техника. 1990. № 2. С. 10-16.
7. Брахман Т. Р. Многокритериальность и выбор альтернативы в технике. М.: Радио и связь, 1984. 288 с.
8. Севастьянов С. И. Критерий размерности множеств альтернатив в экспертных оценках, проводимых методом парных сравнений // Техника средств связи. 2020. № 3 (151). С. 80-90.
9. Общие методические рекомендации по оценке технического уровня промышленной продукции. ГКНТ СССР. М.: ЦНИИ «Электроника», 1990. 48 с.
10. Азгальдов Г. Г., Райхман Э. П. О квалиметрии. М.: Издательство стандартов, 1972. 172 с.
11. Севастьянов С. И. Ранжирование совокупности показателей научно-технического уровня элементов системы связи // ЦВНИ МО. 2000. № 3. С. 5-10.
12. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. Определения, теоремы, формулы. М.: Наука, 1974. 332 с.
13. Севастьянов С. И. Определение значения критерия размерности множеств альтернатив в экспертных оценках, в которых применяются методы парных сравнений // ЦВНИ МО. 2003. № 2. С. 10-27.
14. Севастьянов С. И. Подход к выбору и упорядочению внешних критериев оценки качества комплексов средств автоматизации подсистемы обмена данными // ЦВНИ МО. 2003. № 2. С. 50-66.
15. Бешелев С. Д., Гурвич Ф. Г. Экспертные оценки. М.: Наука, 1973. 158 с.

16. Блюмберг В. А., Глущенко В. Ф. Какое решение лучше? Метод расстановки приоритетов. Л.: Лениздат, 1982. 160 с.
17. Саати Т., Кернс К. Аналитическое планирование. Организация систем. М.: Радио и связь, 1991. 224 с.
18. Голубев И. С. Соизмерение технического уровня и эффективности при проектировании конструкций летательных аппаратов. М.: МАИ, 1986. 90 с.
19. Временная методика оценки технического уровня средств вычислительной техники общего назначения. М.: ГКВТИ СССР, 1998. 72 с.
20. Методические указания по оценке технического уровня и качества промышленной продукции (РД 50-149-79). М.: Издательство стандартов, 1979. 24 с.
21. Оценка технического уровня продукции – необходимое условие выхода на рынок / Уч. пособ. М.: НПО «Поиск», 1993. 86 с.
22. Севастьянов С. И., Севастьянов А. С. Выбор исходных данных для проведения сравнительной оценки технического уровня сложных технических систем // ЦВНИ МО. 2003. № 3. С. 77-90.
23. Методические указания по оценке технического уровня систем и аппаратуры связи, передачи и обработки информации. М.: Министерство промышленности средств связи, 1985. 130 с.
24. Рекомендации к оценке технического уровня продукции. М.: Энтер Лтд, 1992. 192 с.
25. Саркисян С. А., Ахундов В. М., Минаев Э. С. Анализ и прогноз развития больших технических систем. М.: Наука, 1982. 350 с.
26. Общие методические рекомендации по оценке технического уровня промышленной продукции // Воениздат. 1990. № 6. С. 10-60.

#### References

1. Ivanov A. Yu., Polkovnikov S. P., Khodasevich G. B. *Voенно-технические osnovy` postroeniya i matematicheskoe modelirovanie perspektivny`x sredstv i kompleksov avtomatizacii* [Military-technical foundations of construction and mathematical modeling of advanced automation tools and complexes]. St. Petersburg: VAS, 1997. 419 p. (In Russian).
2. Semenov S. S. *Metody` prinyatiya reshenij v zadachax ocenki kachestva i texnicheskogo urovnya slozhny`x texnicheskix sistem* [Decision-making methods in the tasks of assessing the quality and technical level of complex technical systems]. Moscow: Nauka, 2016. 210 p. (In Russian).
3. Filin O. A. The main aspects of modernization of armament samples, military and special equipment as complex technical systems. *Molodoj uchenyj* [Young scientist]. 2020. No. 41 (331). pp. 34-38 (In Russian).
4. Skripnik I. L. *Ocenka texnicheskogo urovnya obrazczov voennoj texniki svyazi pri konkursnom razmeshhenii zakazov* [Evaluation of the technical level of samples of military communications equipment in the competitive placement of orders]. St. Petersburg: VAS, 1997. 238 p. (In Russian).
5. Sevastyanov S. I. *Obobshhennaya metodika ocenki texnicheskogo urovnya kompleksov sredstv avtomatizacii sistemy` obmena dannymi* [Generalized methodology for assessing the technical level of automation complexes of the data exchange system]. St. Petersburg: Central Research Institute of Communications, 2004. 260 p. (In Russian).
6. Rykov L. G., Biyashev R. G., Emshanova E. V., Malenkova O. V. Issues of automation of assessment of the technical level of computer equipment. *Avtomatika i vy`chislitel`naya texnika* [Automation and computer technology]. 1990. No. 2. Pp. 10-16. (In Russian).
7. Brahman T. R. *Mnogokriterial`nost` i vy`bor al`ternativy` v texnike* [Multicriteria and the choice of alternatives in technology]. Moscow: Radio and Communications, 1984. 288 p. (In Russian).
8. Sevastyanov S. I. Criterion of the dimensionality of sets of alternatives in expert assessments conducted by the method of paired comparisons. *Texnika sredstv svyazi* [Communication equipment]. 2020. No. 3(151). Pp. 80-90 (In Russian).
9. Obshhie metodicheskie rekomendacii po ocenke texnicheskogo urovnya promy`shlennoj produkcii. GKNT SSSR [General methodological recommendations for assessing the technical level of industrial products. GKNT USSR]. Moscow: Central Research Institute "Electronics", 1990. 48 p. (In Russian).

10. Azgaldov G. G., Reichman E. P. *O kvalimetrii* [On qualimetry]. Moscow: Publishing House of Standards, 1972. 172 p. (In Russian).
11. Sevastyanov S. I. Ranking of the totality of indicators of the scientific and technical level of the elements of the communication system. *CzVNI MO* [TSVNI MO]. 2000. No. 3. Pp. 5-10. (In Russian).
12. Korn G., Korn T. *Spravochnik po matematike dlya nauchny`x rabotnikov i inzhenerov. Opredeleniya, teoremy`, formuly`* [Handbook of Mathematics for researchers and engineers. Definitions, theorems, formulas]. Moscow: Nauka, 1974. 332 p. (In Russian).
13. Sevastyanov S. I. Determination of the value of the criterion of the dimensionality of sets of alternatives in expert assessments in which the methods of paired comparisons are used. *CzVNI MO* [TSVNI MO]. 2003. No. 2. Pp. 10-27. (In Russian).
14. Sevastyanov S. I. Approach to the selection and ordering of external criteria for assessing the quality of automation complexes of the data exchange subsystem. *CzVNI MO* [TSVNI MO]. 2003. No. 2. pp. 50-66. (In Russian).
15. Beshelev S. D., Gurvich F. G. *E`kspertny`e ocenki* [Expert assessments]. Moscow: Nauka, 1973. 158 p. (In Russian).
16. Blumberg V. A., Glushchenko V. F. *Kakoe reshenie luchshe? Metod rasstanovki prioritetov* [Which solution is better? The method of prioritization]. L.: Lenizdat, 1982. 160 p. (In Russian).
17. Saati T., Kearns K. *Analiticheskoe planirovanie. Organizaciya sistem* [Analytical planning. Organization of systems]: Trans. from English Moscow: Radio and Communications, 1991. 224 p. (In Russian).
18. Golubev I. S. *Soizmerenie texnicheskogo urovnya i e`ffektivnosti pri proektirovanii konstrukcij letatel`ny`x apparatov* [The measurement of the technical level and efficiency in the design of aircraft structures]. Moscow: MAI, 1986. 90 p. (In Russian).
19. *Vremennaya metodika ocenki texnicheskogo urovnya sredstv vy`chislitel`noj texniki obshhego naznacheniya* [Temporary methodology for assessing the technical level of general-purpose computing equipment]. Moscow: GKVTI USSR, 1998. 72 p. (In Russian).
20. *Metodicheskie ukazaniya po ocenke texnicheskogo urovnya i kachestva promy`shlennoj produkcii (RD 50-149-79)* [Methodological guidelines for assessing the technical level and quality of industrial products (RD 50-149-79)]. Moscow: Publishing House of Standards, 1979. 24 p. (In Russian).
21. *Ocenka texnicheskogo urovnya produkcii – neobxodimoe uslovie vy`xoda na ry`nok* [Evaluation of the technical level of products – a necessary condition for entering the market / Uch. Posob]. Moscow: NPO "Search", 1993. 86 p. (In Russian).
22. Sevastyanov S. I., Sevastyanov A. S. The choice of initial data for a comparative assessment of the technical level of complex technical systems. *CzVNI MO* [TSVNI MO]. 2003. No. 3. Pp. 77-90. (In Russian).
23. *Metodicheskie ukazaniya po ocenke texnicheskogo urovnya sistem i apparatury` svyazi, peredachi i obrabotki informacii* [Methodological guidelines for assessing the technical level of communication systems and equipment, transmission and processing of information]. Moscow: Ministry of Communications Industry, 1985. 130 p. (In Russian).
24. *Rekomendacii k ocenke texnicheskogo urovnya produkcii* [Recommendations for assessing the technical level of products]. Moscow: Enter Ltd, 1992. 192 p. (In Russian).
25. Sarkisyan S. A., Akhundov V. M., Minaev E. S. *Analiz i prognoz razvitiya bol`shix texnicheskix sistem* [Analysis and forecast of the development of large technical systems]. Moscow: Nauka, 1982. 350 p. (In Russian).
26. General methodological recommendations for assessing the technical level of industrial products. *Voениzdat* [Paramilitary]. 1990. No. 6. Pp. 10-60. (In Russian).

**Статья поступила 26 ноября 2022 года**

#### **Информация об авторе**

Севастьянов Степан Иванович – Кандидат технических наук. Главный специалист ПАО «Интелтех». Тел.: +7(812) 295-74-07. E-mail: SevastyanovSI@inteltech.ru. Адрес: 197342, г. Санкт-Петербург, ул. Кантемировская, д. 8.

## Basic principles in assessing the technical level of complex technical systems

S. I. Sevastyanov

**Annotation. Problem statement:** in order to increase the validity of management decisions when creating and selecting promising complex technical systems, it is necessary to assess the quality of system solutions and the technical level of these systems. The modern methodological apparatus for assessing the technical level does not sufficiently take into account the full technical characteristics of communication complexes and systems considered as complex technical systems, does not fully allow to assess in advance the consequences of each technical decision on the development and operation of new products based on emerging breakthrough technologies. As a result of the conducted research, a clear contradiction has been revealed between the limited possibilities of existing methodological developments for the number of estimated technical level indicators (quality, efficiency) and the practically necessary number of them to obtain a reliable assessment of the technical level. This characterizes this contradiction as problematic. One of the ways to solve this problem is to set the task of forming the basic principles in assessing the technical level of complex technical systems without limiting the number of indicators taken into account. **The purpose of the work** is to increase the reliability of assessments of the technical level of communication complexes and systems, as complex technical systems, in various tasks of their assessment, conditions and aspects. **The novelty of the work:** The basic principles have been developed in assessing the technical level of complex technical systems without limiting the number of indicators taken into account. In order to assess the technical level of homogeneous complex technical systems of different generations and modifications implemented on existing and promising information technology technologies manufactured by a number of enterprises and used in a variety of conditions, the classification of these systems into homogeneous complex technical systems of the same and different generations, of the same and different modifications is carried out. The universality of the evaluation of these systems is due to the consideration in the operations of selecting the nomenclature of indicators of both identical and non-identical sets of indicators of homogeneous complex technical systems. The principle of grouping technical level indicators into basic, essential and non-essential indicators is outlined, the implementation of which makes it possible to rank technical level indicators according to the degree of their influence on the achievement of technical perfection of systems. To increase the sensitivity of the determining indicator of the technical level of complex technical systems, a complex interrelated application of weighting coefficients, threshold veto coefficient and significance coefficients is proposed, depending on the tasks, aspects and conditions of technical level assessments. **Result:** an approach has been formed to assess the technical level of complex technical systems without limiting the number of indicators taken into account. **The practical significance** lies in the use of the principles outlined in assessing the technical level of complex technical systems when creating and improving models and techniques in this field, the results of which contribute to achieving a high level of technical excellence and improving the technical efficiency of complex technical systems.

**Keywords:** assessment of technical level, principles in the assessment of technical level, complex technical systems, multi-criteria task, defining indicator of technical level.

### Information about the authors

Stepan Ivanovich Sevastyanov – Candidate of Technical Sciences. Chief specialist of PJSC «Inteltech». Tel +7(812) 295-74-07. E-mail: SevastyanovSI@inteltech.ru. Address: 197342, St. Petersburg, 8 Kantemirovskaya St.

**Для цитирования:** Севастьянов С. И. Основные принципы в оценке технического уровня сложных технических систем // Техника средств связи. 2022. № 4 (160). С. 31-44. DOI: 10.24412/2782-2141-2022-4-31-44.

**For citation:** Sevastyanov S. I. Basic principles in assessing the technical level of complex technical systems // Communication equipment. 2022. No. 4 (160). Pp. 31-44. DOI: 10.24412/2782-2141-2022-4-31-44 (in Russian).

**ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ**

УДК 623.611

DOI: 10.24412/2782-2141-2022-4-45-58

**Анализ научно-методического аппарата для проведения предварительной дефектации техники связи военного назначения в условиях огневого поражения противника**

Семенов С. С., Вылков А. С., Ерыгин В. В.

**Аннотация:** *Постановка задачи:* на основе анализа существующих моделей поражения техники связи, методов для проведения предварительной дефектации техники связи военного назначения в условиях огневого поражения, определить научно-методический аппарат, позволяющий разработать методику для повышения оперативности проведения предварительной дефектации техники связи военного назначения в условиях огневого поражения противника средствами обычного вооружения. **Целью работы** является рассмотрение имеющихся способов моделирования поражения техники связи военного назначения при нанесении огневого удара противником, возможных методов проведения предварительной дефектации техники связи военного назначения, обоснование их применения в современных условиях, а также определение дальнейших направлений их совершенствования и развития. **Используемые методы:** в ходе анализа имеющегося научно-методического аппарата моделирования поражения техники связи военного назначения при нанесении огневого удара противником, проведения предварительной дефектации при выполнении мероприятий технической разведки, рассмотрены возможные **методы** моделирования для определения степени повреждений аппаратных полевых узлов связи – аналитические, имитационные, численные. Применено понятие механики сплошных сред. **Новизна** исследования состоит в выявлении построения и разработках имеющихся моделей и методик оценки степени повреждений и определения объема требуемых ремонтных работ полевых аппаратных узлов связи, проводимых экипажами, личным составом групп технической разведки, без учета реальных геометрических параметров повреждений, таких как величин пробойн от осколочного поля боеприпасов, глубины проникновения осколков, учета конструктивных особенностей аппаратных узлов связи, влияющих на прохождение осколков и потерю их энергии при прохождении преград. **Результат** проведенного анализа показал необходимость формирования рациональной очереди восстановления и объема ремонтных работ, выбора безошибочной стратегии ремонта, на основании разработки методики предварительной дефектации после оценки качественных характеристик полученных повреждений в результате огневого воздействия противника, полученных в результате моделирования огневого поражения техники связи военного назначения.

**Ключевые слова:** предварительная дефектация, механика сплошных сред, численное моделирование, восстановление техники связи, техническая разведка, боевые повреждения, поражающие факторы современного обычного оружия, осколочное поле, качественные характеристики, трудоемкость, трудозатраты.

**Введение**

В ходе ведения боевых действий, полученные техникой связи (ТС) повреждения будут сильно снижать боеспособность наших войск, если не будут планироваться и проводиться мероприятия по ремонту. Так, имеются оценки того, что при оптимальной организации работы системы восстановления за время проведения операций, возможно восстанавливать до 40 % всей поврежденной ТС.

Важным моментом в реализации заложенных в существующую или разрабатываемую систему восстановления возможностей является деятельность органов технического обеспечения по распределению потока поврежденной техники связи на различных ее уровнях. Эта задача в соответствии с существующими руководящими документами возлагается на личный состав частей, подразделений связи, специалистов технической разведки (ТР). Учитывая в целом недостаточный уровень квалификации этого персонала, можно показать значительный разброс в оценках состояния техники с одинаковыми повреждениями и следующую отсюда существенную ошибку в ее распределении по звеньям ремонта. Последнее приведет к

неадекватной нагрузке ремонтных органов и, в конечном итоге, к снижению оперативности функционирования системы восстановления. Среди большого количества проблем, решение которых способствует достижению поставленной задачи, выбрано организационно-техническое направление, позволяющее без существенных затрат, только за счет рациональной организации процесса восстановления достичь повышения эффективности рассматриваемой системы.

*Цель* данной работы является обоснование единого подхода в рамках системы восстановления к организации процессов дефектации, к упорядочению распределения по ее уровням поврежденной техники связи путем анализа признаков, позволяющих классифицировать ее по степени тяжести боевых повреждений, изыскание способа организации предварительной дефектации (ПД) поврежденной ТС с учетом конструктивных признаков и геометрических показателей повреждений техники связи военного назначения (ТС ВН).

Рассмотрим конструктивное построение современной ТС ВН, а также поражающие факторы воздействия обычного оружия, приводящие к выходу из строя техники связи при выполнении задачи по организации связи.

### **1. Описание принципов построения техники связи военного назначения и основных поражающих факторов обычного оружия**

Современная ТС ВН может конструироваться на базе бронетанкового вооружения, а также на автомобильных базовых шасси. Рассмотрим структуру и состав произвольной аппаратной связи на базе автомобильного базового шасси в небронированном варианте. ТС должна представлять должностным лицам пунктов управления воинского формирования и членам экипажа требуемые виды связи, необходимые для реализации функций управления войсками.

Аппаратура, рабочие места экипажа и должностных лиц размещаются в кузовах-фургонах (КФ) различных типов. Как правило, КФ может разделяться на отсеки по своему функциональному предназначению. Аппаратура и оборудование можно сгруппировать и классифицировать следующим образом:

- средства связи и передачи данных;
- аппаратура внутренней связи коммутации и управления;
- антенно-мачтовые устройства;
- комплекс средств автоматизации управления;
- навигационные средства;
- вводно-соединительное оборудование;
- блоки и устройства системы электроснабжения;
- элементы системы жизнеобеспечения.

Средства связи, вспомогательное оборудование и другие указанные выше системы размещаются в КФ различных марок (рис. 1).

Все КФ, имеющиеся и смонтированные на автомобильных базовых шасси, отвечают требованиям ГОСТ, ТУ, выполнены по модульной технологии или из полноформатных панелей с несколькими слоями по бескаркасной технологии. Основной технологической особенностью является исполнение боковых панелей, крыши, скосов крыши без комплекта для обеспечения стойкости к воздействию осколков и ударной волны.

Основное и вспомогательное оборудование в аппаратных связи распределено по всей площади КФ неравномерно (рис. 1). С разных сторон аппаратных возможно различное размещение аппаратуры связи, блоков различных габаритов. Аппаратура связи закреплена в стойках, закрепленных к полу, боковым панелям. Вводно-соединительное оборудование проходит в 70 % по боковым панелям кунгов.

В аппаратных связи возможно размещение нескольких комплектов однотипной аппаратуры связи. Средства связи построены по модульному (блочному) принципу.

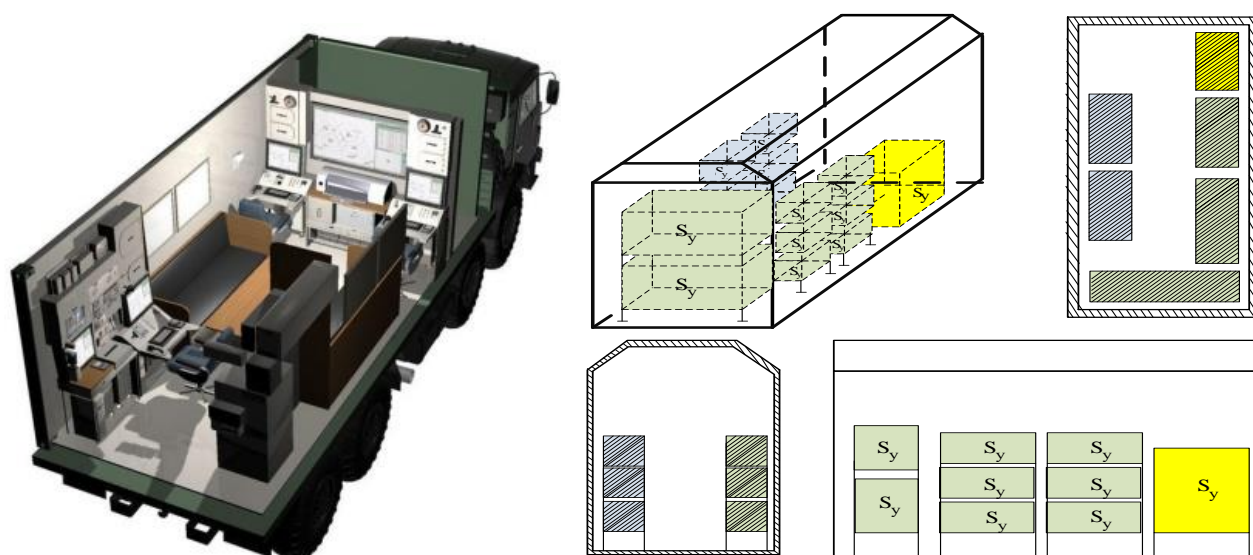


Рис. 1. Примерное размещение аппаратуры связи в аппаратной

Конструктивно ТС представляет собой многоуровневую конструкцию, при этом основные составные части выполняются в виде легкосъёмных сборочных единиц – блоков, что говорит о целесообразности проведения ремонта агрегатным методом. Конструкция аппаратуры позволяет обеспечивать взаимозаменяемость основных однотипных блоков как правило, без подстройки [1]. Встроенная система диагностирования позволяет, как правило, однозначно идентифицировать неработоспособный модуль. Боевые повреждения образца ТС определяются визуально.

Для достижения требуемого времени восстановления ремонт современных комплексов средств связи должен осуществляться агрегатным методом, при котором восстановление средств связи на уровне модулей (блоков) может осуществляться специалистами, имеющими достаточно невысокий уровень квалификации. Для осуществления агрегатного ремонта необходимо использование запасных частей, которые должны обеспечить значительное сокращение времени восстановления техники связи за счёт охвата всех имеющихся средств связи при максимальном приближении данных запасов к местам эксплуатации [2, 3].

Проведённый анализ конструктивного построения техники связи говорит о разделении оборудования, размещенного в КФ аппаратных связи на основное и вспомогательное не однотипной схемой компоновки, дублирования отдельных средств связи. Основное оборудование размещено в КФ в пределах 60 % общего пространства. КФ представляет собой многослойный объект, содержащий слои из различных материалов, с различной прочностью и стойкостью к поражающему воздействию различных боеприпасов обычного оружия.

Полевые аппаратные связи входят в техническую основу системы управления. Противником будут наноситься удары в первую очередь по средствам управления, узлам связи. Анализируя течение современных локальных войн, операций, можно сказать, что наиболее массовым оружием, применяемым для снижения боевого потенциала войск, являются средства обычного поражения. Средствами обычного поражения является оружие, которое основано на использовании энергии обычных взрывчатых веществ (тротил, гексоген, порох) и зажигательный смесей. К средствам обычного вооружения относятся боеприпасы: артиллерийские, ракетные, авиационные, стрелковые и инженерные [4, 5]. Характер их поражающего действия зависит от конструкции боеприпаса и проявляется в форме осколочного, фугасного, ударного, кумулятивного, зажигательного действия.

Боеприпасы осколочного действия – один из наиболее распространенных типов боеприпасов, к которому относятся не только осколочные, но и все виды осколочно-



фугасных боеприпасов. Осколочные боеприпасы могут использоваться с авиационными средствами их доставки, так и в артиллерийских системах. Наиболее часто встречается нанесение ударов с использованием артиллерии калибра 155 мм. Таким образом, целесообразно ограничить область анализа в средствах поражения до данных боеприпасов.

Основными поражающими факторами осколочных боеприпасов будут являться:

- проникающее действие осколков осколочного поля;
- действие плотного потока поражающих элементов.

Для полевых аппаратных связи данные факторы нанесут максимальный ущерб в виде пробоин на корпусе, и последующем разрушении блоков, элементов на пути проникновения осколков, до снижения убойной энергии.

Боевые повреждения техники связи будут нести множественный характер.

Повреждения могут быть поделены на две группы – явные дефекты и неявные или скрытые. Как явные, так и скрытые дефекты связаны, прежде всего, с изменениями конструктивной структуры объекта. Главный критерий разделения дефектов на явные и скрытые – это возможность обнаружения при внешнем осмотре.

Таким образом, при взаимодействии техники связи как объекта поражения и поражающих факторов осколочных боеприпасов, на аппаратных связи остаются множественные повреждения, проявляющиеся в виде определенного диаметра пробоин, имеющие определенные направления пробивного действия осколков и глубину проникновения. Следы осколков могут проявляться с различной плотностью относительно площади объекта, а также иметь различные входные углы. Вместе с тем, внутри КФ аппаратных связи оборудование размещается неравномерно, и не является равнозначным в организации связи и выполнения своего функционального предназначения аппаратной (радиостанцией). Также необходимо отметить, преграды в виде блоков аппаратуры, корпус КФ (слои), которые проходит осколок от места подрыва боеприпаса, в различных местах аппаратных различные, и как следствие, глубина проникновения осколков, с учетом их разной скорости и энергии будет разной.

При получении повреждений после воздействия оружия противника и переходе в неработоспособное состояние ТС ВН на первом этапе проводится ПД, задачи, особенности, проблемные вопросы которой представлены далее.

## **2. Роль и место проведения предварительной дефектации при ведении технической разведки и процесса восстановительного ремонта**

Возникающая проблема восполнения потерь должна решаться комплексно – за счет снабжения и проведения ремонта, силами экипажей, ремонтных органов, использования сил и средств местной промышленной базы и сети связи [6].

Восстановление вооружения, военной и специальной техники (ВВСТ) является основным источником восполнения потерь непосредственно в ходе боевых действий, и включает в себя: ТР, эвакуацию, ремонт, возвращение в строй. Общее время восстановления складывается из времени на выполнение каждого элемента, но для каждого образца ВВСТ время восстановления является случайной величиной, в связи с чем необходимо использовать их среднее значение:

$$\bar{T}_B = \bar{T}_{TR} + \bar{T}_Э + \bar{T}_P + \bar{T}_{ВВ} . \quad (1)$$

Ремонт средств военной связи является важнейшей функцией органов технического обеспечения связи и автоматизированных систем управления (ТОС и АСУ), и один из основных путей восполнения потерь [2]. Учет качественных характеристик повреждений ТС (форма, диаметр пробоин, возможная глубина проникновения осколков) влияет на порядок восстановления. В частности, возрастает роль внешнего осмотра, поскольку повреждения будут носить в основном ярко выраженный механический характер [7].

С началом боевых действий система связи будет подвергаться огневому воздействию противника. В результате этого для восстановления будет поступать поврежденная ТС.

Определение объема и степени ремонта ВВСТ, а также места его проведения, производится при ведении ТР [8].

ТР решает следующие задачи:

- 1) Своевременное определение местонахождения поврежденных (неисправных) ВВСТ.
- 2) Определение технического состояния поврежденных ВВСТ (ПД).
- 3) Определение объема эвакуационных работ.
- 4) Определение состояния экипажей (расчетов), механиков-водителей (водителей).
- 5) Изучения районов размещения (развертывания) сил и средств органов ТОС и АСУ.
- 6) Выбор путей эвакуации, мест передачи, вышедшей из строя ТС.
- 7) Определение возможности использования местной промышленной базы.

Основной задачей ТР в ходе операции будет – своевременное выявление поврежденных (неисправных) ВВСТ, определения их местонахождения и технического состояния (объема ремонтных и эвакуационных работ), состояния экипажей (расчетов), механиков-водителей (водителей) [3].

ТР проводится:

- личным составом экипажей;
- пунктами технического наблюдения;
- группами технического обеспечения;
- группами технической разведки и эвакуации;
- замыканиями походных колонн.

Поскольку перед системой восстановления стоит задача по обработке значительного объема ремонтного фонда в ограниченные сроки, то необходимо обеспечить выполнение основных принципов ремонта: первоочередное восстановление ТС в наибольшей степени, определяющей боеспособность подразделения (воинской части), и с наименьшим объемом работ; ремонт ВВСТ осуществляется непосредственно в ходе ведения боевых действий на местах выхода их из строя, в ближайших укрытиях и на сборном пункте поврежденных машин (СППМ).

Обеспечить выполнение этих принципов ремонта можно лишь путем организации и проведения ПД поврежденной ТС органами ТР или личным составом, непосредственно ее эксплуатирующим, то есть в результате установления приоритета на восстановление для однотипной техники по величине трудоемкости единичного ремонта [2].

Таким образом, целью проведения ПД является – определение необходимых трудозатрат на восстановление работоспособности объекта. Исходя из того, что необходимые трудозатраты на восстановление  $W_{ij}$  ( $i$ -ый тип средства связи,  $j$ -ое войсковое формирование) зависят от множественности повреждений, их распространенности по различным конструктивным уровням деления объекта (по блокам, узлам, платам, элементам), от наличия комплекта запасных частей, инструмента и принадлежностей (ЗИП), технологической оснастки, уровня подготовки персонала в ремонтных органах и ряда других факторов, то в целях согласования оценок результатов проведенной предварительной дефектации в различных элементах системы восстановления (то есть приведения их к одной единице измерения) целесообразно введение понятия трудозатрат. Под ними следует понимать затраты, которые необходимы для восстановления объекта при наличии простейшего технологического оборудования, при среднем уровне подготовки ремонтников, в условиях замены поврежденных простейших элементов такими же исправными.

Таким образом, цель предварительной дефектации в боевых условиях определяется, как установление трудозатрат  $W_{ij}$ , необходимых для ремонта техники связи. Под ПД же следует понимать часть технологического процесса восстановления средств связи, направленную на обнаружение боевых повреждений в неработоспособной технике, определение их распространенности по различным конструктивным уровням деления объекта и проводимого в ограниченные сроки.

При таком понимании предварительной дефектации она является разновидностью процесса диагностирования. Но если диагностирование, как процедура поиска отказавших или поврежденных элементов при заданной ее глубине  $\lambda$ , позволяет определить конкретное состояние объекта диагностирования  $e_i$ , то дефектация дает возможность выделить подмножество его состояния  $E_i \subset E$ , мощность которого  $|E_i|$  зависит от требований, предъявляемых к её результатам.

ПД включает в себя задачи, связанные с добыванием, сбором, обработкой и выдачей необходимой информации о поврежденной технике связи заинтересованным в ней органам управления силами и средствами технической разведки.

Необходимость определения трудозатрат диктуется условием упорядочения ремонтного фонда

$$W_{1,j} \leq W_{2,j} \leq W_{3,j} \leq \dots \leq W_{n,j} \leq \dots \leq W_{N,j}, \quad (2)$$

где,  $W_{i,j}$  – трудоемкость восстановления (ремонта) техники связи  $j$ -го типа,  $N$  – количество поврежденной техники  $j$ -го типа, обеспечивающим максимальную эффективность работы ремонтного органа.

При известном законе распределения трудозатрат и работе ремонтного органа в режиме перенасыщения, когда трудоресурс ремонтного органа существенно меньше трудозатрат, необходимых для восстановления  $N$  единиц поврежденной техники, максимальное количество  $n_{\max}$  восстановленной техники связи определится из условия

$$\sum_{i=1}^{n_{\max}} W_{i,j} \leq W_{\text{доп},j}, \quad (3)$$

где,  $W_{\text{доп},j}$  – допустимый трудоресурс.

При отсутствии предварительной дефектации вероятность  $P_{\text{сл}}$  того, что случайная выборка  $n_{\max}$  единиц  $j$ -го типа из  $N$  единиц удовлетворяет условию (3), а также обеспечит максимальную скорость восстановления определится из выражения

$$P_{\text{сл}} = \frac{1}{C_N^{n_{\max}} \cdot n_{\max}!}. \quad (4)$$

Естественно, что при  $n_{\max} < N$  вероятность  $P_{\text{сл}}$  будет меньше единицы, а это приведет к снижению качества восстановления техники за счет имеющегося трудоресурса  $W_{\text{доп},j}$ .

Следовательно, выполнение условия (2) возможно лишь при организации предварительной дефектации поврежденной техники связи, которая обеспечивает повышение потенциальных возможностей ремонтных органов по ее восстановлению.

Таким образом, исходя из общих требований к технической разведке, к ПД можно предъявить требования по оперативности определения технического состояния военной техники связи и объема необходимых ремонтных работ, с целью правильного выбора стратегии ремонта и снижения общего времени восстановления ВВСТ. Ниже разберем научно-методический аппарат, который можно использовать в целях разработки моделей поражения ТС ВН и методики проведения предварительной дефектации ТС ВН с целью повышения оперативности восстановления и рационального формирования очереди ремонта.

### **3. Анализ научно-методического-аппарата для моделирования поражения техники связи военного назначения и разработки методики предварительной дефектации**

К сожалению, в мирное время вопросам дефектации должного внимания практически не уделяется, в работах по повышению оперативности функционирования системы восстановления, отмечается лишь их значимость.

Очевидно, что в период военных действий проблема определения степени тяжести боевых повреждений средств военной связи (определение трудоемкости восстановления), то есть классификация состояния объектов, будет возникать постоянно и на всех уровнях управления системой ремонта. Причем решать ее будут в большинстве случаев люди, непосредственно эксплуатирующие технику связи. Это указывает на то, что при оценке

степени тяжести повреждений, полученных объектом (ПД), большую роль будет играть субъективный фактор, особенно если учесть различие в уровнях подготовки личного состава, и в целом, низкий уровень его квалификации. Также необходимо отметить, что решение, этой задачи должно проходить в кратчайшие сроки, что приводит к существенным отличиям дефектации в период военных действий от принципов ее проведения в мирное время.

Для разработки методики проведения предварительной дефектации целесообразно рассмотреть вопрос моделирования поражения ТС ВН. Построение модели поражения можно производить несколькими методами:

1) Аналитический метод, основанный на проведении расчетов физических процессов внутренней и внешней баллистики полета снарядов, формирование осколочных полей, законов поражения и разлета осколков, описание пробития преград математическими выражениями [9]. Математические выражения, используемые для определения расхода энергии, для пробития каждой преграды будут выстроены на основе коэффициентов, полученных эмпирическим путем, не учитывая прочностные характеристики материалов корпусов и блоков аппаратных связи. Например, для аналитического расчета пробивного действия осколков, для определения предельной толщины пробиваемой преграды при реализации переходного механизма внедрения осколка в преграду получены различные эмпирические формулы, в частности для пары сталь-сталь известно соотношение НИИ «Геодезия» [5]:

$$b_{\text{пред}} = 2,1q \lg(1 + 6,5v_0^2), \quad (5)$$

где,  $q$  – поперечная нагрузка осколка,  $v_0$  – скорость осколка.

Таким образом, выражение (5) получено только для одного случая, при одинаковых материалах осколка и преграды (корпуса аппаратной).

Также, при использовании определенных законов поражения цели, блок (субблок, узел), находящийся в плоскости полета осколка при определенном значении энергии осколка, считается пораженным. Вместе с тем, факт поражения может не состояться, ввиду не пробития преграды, а лишь ее деформации.

2) Логико-вероятностные модели являются простейшим видом взаимодействия между средством и объектом поражения, на основании которого может быть построена модель уязвимости. Однако в постановке задачи на пробитие, и необходимости получения на выходе модели геометрических характеристик, данный метод не подходит.

3) Метод имитационного моделирования заключается в создании логико-аналитической (математической модели системы и внешних воздействий), имитации функционирования системы, т. е. в определении временных изменений состояний системы под влиянием внешних факторов, и в получении выборок значений выходных параметров, по которым определяются их основные вероятностные характеристики. Данное определение справедливо для стохастических систем. При исследовании детерминированных систем отпадает необходимость изучения выборок значений выходных параметров [10].

В постановке задаче на пробитие осколком (преодоление преграды) нет необходимости проводить большое количество итераций и экспериментов. Необходимо оценить точно прочность материалов преград, последствия точечного воздействия осколочного поля и следы повреждений, которые возможно определить визуально. Неважна итоговая статистика в эксперименте, нет необходимости в сборе количественных результатов поражения.

4) Численное моделирование рассматривает поведение сплошной среды при ударных воздействиях, базирующихся на классических законах сохранения массы, импульса и энергии [9]. С математической точки зрения рассматривается система определяющих уравнений – уравнений состояний. Таким образом, строится модель соответствующей сложной системы, примером которой является: заряд – среда – преграда; летящее тело – преграда [11].

Для проведения численного моделирования необходимы:

1) Физические модели поведения материалов в условиях интенсивных динамических нагрузок, реализующихся при действии средств поражения и боеприпасов.

2) Корректные математические модели, в которых физические модели представляются в виде математических формул и уравнений.

3) Численные методы решения математических задач, с помощью которых решаются математические задачи, формулируемые в соответствии с рассматриваемым процессом.

4) Программы и программные комплексы (пакеты), реализующие решение задач и обеспечивающие представление получаемых результатов в удобной для анализа форме.

Для построения физических моделей необходимо обобщить их основные элементы, присущие некоторым классам материалов. Фундаментальной гипотезой, позволяющей применить единый подход к описанию поведения самых разных материалов, является гипотеза сплошного строения тел. На основании чего сформировано направление – механика сплошных сред. Формально расчет любых процессов в рамках модели сплошной среды сводится к вычислению деформаций (перемещений) элементов среды под действием прикладываемых нагрузок. Любое перемещение реализуется в определенной системе отсчета. При выборе системы отсчета выбирают два основных подхода: Эйлера и Лагранжа. Состояние сплошной среды в каждой точке в данный момент времени характеризуется набором параметров, включающих скорость, ускорение, плотность или компоненты тензора деформаций и т. д. В механике сплошной среды вводится понятие материальных тел как тел, обладающих свойством инерции, которое характеризуется массой. Вводится также понятие индивидуального или материального объема как объема, состоящего из одних и тех же частиц среды [12].

Таким образом, на основании указанных законов составляется система дифференциальных уравнений, описывающая поведение сплошной среды.

Данные модели сложны, и возникающие математические задачи практически не поддаются аналитическому решению, вследствие этого используется компьютерное моделирование [11].

Исходя из вышесказанного следует, для решения задачи пробития преграды осколками, оценки глубины проникания за преграду, оценки диаметров пробоев и их зависимости от энергетических и скоростных характеристик осколков, целесообразно использовать компьютерное моделирование, основанное на численном решении уравнения состояния механики сплошной среды. Вместе с тем, для задания начальных значений (входных данных) осколочного поля, необходимо аналитическим методом произвести расчет по параметрам формы осколка, его массы, начальной скорости полета, скорости полета в месте встречи с преградой [13].

Так как необходимо решение задачи получения выходных данных качественных характеристик поражения аппаратной связи, данный способ является наиболее приемлемым в действующей постановке задачи.

Для проведения расчетов возможно использование координатного закона поражения цели для однозонного поля, так как он по углу постоянен, и зависит только от радиуса места разрыва снаряда до цели, а дальнейшее формирование геометрических форм повреждений будет проводиться на основании прочностных характеристик материалов корпусов во взаимодействии с осколками, через механику сплошной среды, описываемую уравнением состояний [4, 13].

Некоторые аналитические выражения для расчета начальных параметров осколков используются в методике оптимизации параметров осколочных боеприпасов [14]. Основными в постановке задачи на пробитие являются выражения внешней баллистики (динамические углы осколочного поля, плотность потока поражающих элементов, параметры осколков), формирования осколочных полей с характеристиками осколков (рис. 2) [4].

Выражения, описывающие форму и массу осколка:

1) Определение средней характеристической массы осколка:

$$m_{\text{ср}} = \frac{M}{N_{>m_s}}, \quad (6)$$

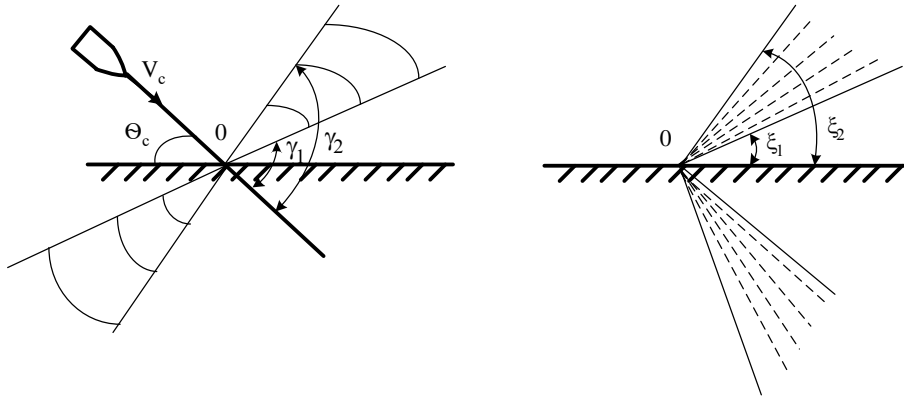


Рис. 2. Разлет осколков при встрече снаряда с поверхностью земли

где,  $M$  – масса корпуса боеприпаса;  $N_{>ms}$  – общее количество осколков с массой, большей нижней границы спектра  $m_s$ .

2. Параметр формы осколков:

$$\Phi = \frac{\bar{S}}{V^{2/3}}, \quad (7)$$

где,  $\bar{S}$  – средний мидель осколка;  $V$  – объем осколка.

3. Средний мидель осколка:

$$\bar{S} = \frac{1}{2}(ab + bc + ca), \quad (8)$$

где,  $a, b, c$  – вершины произвольного осколка.

Подсистема уравнений для однозонного осколочного поля, описывающая кинематические и геометрические характеристики осколочного поля [7, 8]:

1) Начальная скорость поражающих элементов:

$$V_0 = 0.5\varphi_0 D \sqrt{\frac{5\alpha}{10 - 4\alpha}}, \quad (9)$$

где,  $\alpha$  – коэффициент наполнения взрывчатого вещества;  $D$  – скорость детонации заряда взрывчатого вещества. Для оболочки естественного дробления  $\varphi_0 = 0,98$  (коэффициент).

2) Динамический угол осколочного поля (рис. 2):

$$\gamma = \arctg \frac{V_0 \sin \varphi}{V_c + V_0 \cos \varphi}, \quad (10)$$

где,  $\varphi$  – угол осесимметричного осколочного поля;  $V_c$  – скорость снаряда;  $V_0$  – начальная скорость осколков.

3) Результирующая скорость на крае поля:

$$V_d = \sqrt{V_0^2 + 2V_0V_c \cos \varphi + V_c^2}. \quad (11)$$

4) Убойный интервал осколка:

$$R_{y6} = 145 \frac{m^{1/3}}{c_x \Phi} \lg \frac{V_d}{V_{y6}}, \quad (12)$$

где,  $m$  – масса осколка;  $V_d$  – результирующая скорость осколка;  $V_0$  – начальная скорость осколка;  $\Phi$  – параметр формы;  $V_{y6}$  – убойная скорость осколка,  $h_{ст}$  – стальной эквивалент

цели;  $V_{y6} = 145 \frac{h_{ст}^3 \Phi}{m^{1/3}}$ .

Решение задачи численного моделирования пробития может сводиться к имитации высокоскоростного соударения осколков различной формы с многослойными преградами. Многослойной преградой можно представить аппаратную связи в разрезе. Тогда каждый слой будет иметь определенную толщину, охарактеризованную определенным типом материала. Каждый материал в многослойной преграде моделируется своим уравнением состояния, принятой моделью прочности и моделью разрушения, табл. 1.

Таблица 1 – Характеристика материалов в механике сплошной среды

Наименование материала	Уравнение состояния	Модель прочности	Модель разрушения
Сталь В 250 (STELL V250)	Уравнение ударной адиабаты	Модель Стейнберга-Гуинана	Не определена
Алюминий (AL-203)	Уравнение полиномиальное	Модель Джогсона-Холмквиста	Модель Джогсона-Холмквиста
Полиуретан (POLYURETH)	Уравнение линейное	Модель упругости	Модель главного напряжения
Медь (COOPER)	Уравнение ударной адиабаты	Не определена модель прочности	Не определена модель разрушения
Нержавеющая сталь (STNLSTEEL)	Уравнение ударной адиабаты	Модель Джонсона-Кука	Не определена модель разрушения

На основании описания математическими уравнениями состояний сред (осколка и преграды), проводится эксперимент, по высокоскоростному соударению исходя из рассчитанных начальных параметров (рис. 3).

В результате различных сценариев эксперимента, возможно получить прочностной анализ поведения корпуса аппаратной [9], а также аппаратуры связи, размещенной внутри, при соударении с осколками с отображением геометрических параметров повреждений, определения глубины проникновения осколка, диаметров пробоев, в зависимости от размеров осколка и различных углов входа в корпус аппаратной (блоков аппаратуры связи).

Получив выходные данные из модели поражения, возможно их использование в разработке методики ПД.

При осуществлении ремонта в период боевых действий возникает необходимость предварительного определения трудозатрат на восстановление поврежденной техники связи. Возможно их определение через теорию множеств. Задается множество вариантов выхода из строя конструктивных единиц множества. Математический аппарат теории игр, при принятии решений в условиях неопределенности, позволяет использовать методы для выбора оптимального решения. С этой целью рассматривается классификация информационных ситуаций и для каждой ситуации рекомендованы критерии принятия решений.

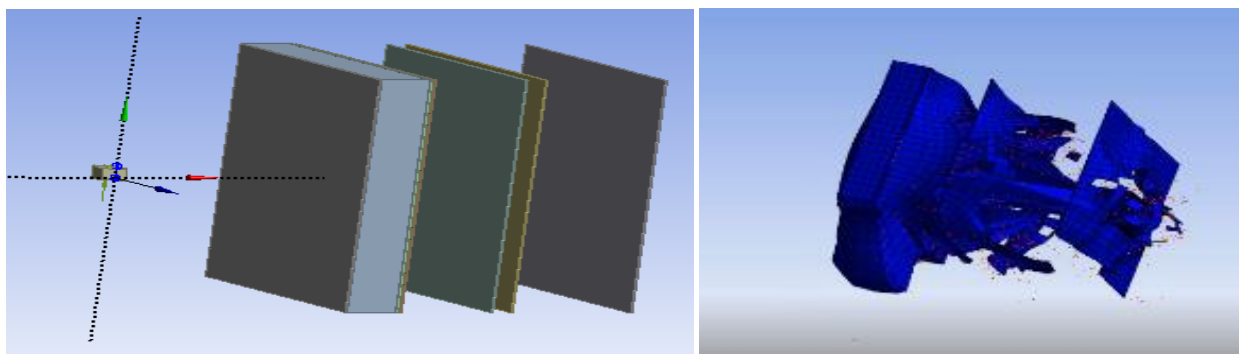


Рис. 3. Результат моделирования высокоскоростного соударения осколка и многослойной преграды

Далее определяется значение трудозатрат на устранение повреждений разного характера в промежутках слабых, средних, сильных боевых повреждений. Определив совокупность всех возможных комбинаций повреждений, попадающих в пределы трудозатрат между различными боевыми повреждениями, необходимо разработать алгоритм ПД, позволяющий выявить принадлежность поврежденного образца техники связи к указанному промежутку или принять решение, что восстановление в данном ремонтном органе нецелесообразно.

Приняв отсутствие связей между различного рода элементами объекта дефектации, можно составить безусловный алгоритм предварительной дефектации выявления явных механических повреждений с использованием теории нечетких множеств и теории графов [15].

На основании полученных расчетов возможна формализация действий экипажа в виде методики предварительной дефектации.

Таким образом, в результате проведенного анализа научно-методического аппарата для моделирования поражения техники связи военного назначения определен и обоснован вариант решения задачи по построению модели поражения ТС ВН. В отличие от ранее предложенных моделей, в данной предполагается проведение прочностного анализа материалов построения аппаратных, их блоков (субблоков, узлов) и на основании моделирования высокоскоростных соударений, получение геометрических параметров повреждений, необходимых в дальнейшей работе по составлению методики ПД для экипажей аппаратных, групп ТР.

### Заключение

Возможность повышения оперативности системы восстановления может рассматриваться за счет уменьшения времени проведения работ на каждом из этапов восстановления ТС ВН. В первую очередь сюда относится рассмотрение принципов организации процедуры предварительной дефектации поврежденных средств связи. Успешное решение этой задачи позволит осуществить рациональную стратегию ремонта. Наличие научно обоснованной последовательности действий лиц, как непосредственно производящих осмотр поврежденной техники, так и принимающих решение по ее результатам, позволит создать единую основу для организации необходимого взаимодействия между звеньями системы восстановления.

Разработка методики предварительной дефектации ТС ВН невозможна без качественного подхода к оценке повреждений. В связи с этим необходима разработка модели поражения ТС ВН противником с получением качественной информации о повреждениях, их глубины, возможных размерах, отображения степени повреждения. Полученные результаты моделирования могут быть использованы при составлении алгоритмов дефектации, и как итог, их формализации в виде методики проведения предварительной дефектации для экипажей аппаратных, групп технической разведки.

Качественные характеристики повреждений невозможно получить только расчетным методом, применением теории вероятностей, приблизительных расчетов, предположений и допусков. Применение метода численного моделирования позволит получить более точные данные о повреждениях, которые возможно найти только при проведении натурального эксперимента, что является невозможным.

Таким образом, имея сведения о геометрических параметрах повреждений, возможно, разработать научнообоснованную методику, позволяющую за меньшее время сформировать рациональную очередь на восстановление, и выбрать правильную стратегию проведения ремонта.



### Литература

1. Чихачев А. В., Дорошенко Г. П., Бурлаков А. А. Система вооружения и военной техники : Учебник для слушателей Военной академии связи. – СПб. : ВАС, 2015. – 316 с.
2. Чихачев А. В., Третьяков С. М., Киселев Д. В. [и др.] Техническое обеспечение связи и автоматизации : Учебник. – СПб. : ВАС. 2017. 302 с.
3. Кобзарь П. Е., Попов Б. И., Гушчин С. А., Казанцев И. В. [и др.] Техническое обеспечение: электронное учебное пособие. – ОмБТИИ: 2019.
4. Балаганский И. А., Мерзиевский Л. А. Действие средств поражения и боеприпасов: Учеб. Пособие. – 2-е изд., испр. и доп. – Новосибирск : Изд-во НГТУ. 2017. – 408 с.
5. Бабкин А. В., Велданов В. А., Грязнов Е. Ф., Имховик Н. А., Кобылкин И. Ф., Колпаков В. И., Ладов С. В., Орленко Л. П., Охитин В. Н., Ришняк А. Г., Селиванов В. В. Боеприпасы: учебник в 2 т. / под общей ред. В. В. Селиванова. – Москва: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2016. Т.1. – 506 с.
6. Семёнов С. С., Чихачёв А. В., Гусев А. П., Дорошенко Г. П. Перспективы развития вооружения, военной и специальной техники : Учеб. пособие. – СПб., 2016. – 154 с.
7. Белокопытов С. В., Колунин А. В., Белокопытов А. В. Актуальные вопросы организации войскового ремонта в условиях военных локальных конфликтов // Известия ТулГУ. Технические науки. 2018. №12. С.328-335.
8. Попов Б. И., Конкин С. В., Базаров Н. Б. Направления развития технической разведки // Научный вестник ВВИМО. 2018. №3 (47). С.46-49.
9. Самарский А. А., Михайлов А. П. Математическое моделирование: Идеи. Методы. Примеры. – 2-е изд., испр. – М.: ФИЗМАТЛИТ. 2002. – 320 с.
10. Буравлев А. И., Брезгин В. С. Методика оценки ущерба при имитационном моделировании огневого поражения объектов // Вооружение и экономика. 2012. №5 (21). С.13-21.
11. Орленко Л. П. Физика взрыва и удара : Учеб. Пособие. – М.: ФИЗМАТЛИТ. 2006. – 304 с.
12. Христенко Ю. Ф., Толкачев В. Ф., Коняев А. А., Герасимов А. В., Пашков С. В., Трушков В. Г., Глазырин В. П., Орлов Ю. Н., Зелепугин С. А. Высокоскоростной удар. Моделирование и эксперимент / под ред. А. В. Герасимова. – Томск: Изд-во НТЛ, 2016. – 568 с.
13. Суфиянов, В. Г. Решение задачи комплексного моделирования артиллерийского выстрела с применением визуальных технологий для проектирования и отработки артиллерийских систем: дисс. ... докт. техн. наук: 05.13.01, 05.13.18 / Вадим Гарайханович Суфиянов. – Ижевск, 2016. – 302 с.
14. Бабкин А. В., Велданов В. А., Грязнов Е. Ф., Имховик Н. А., Кобылкин И. Ф., Колпаков В. И., Ладов С. В., Орленко Л. П., Охитин В. Н., Ришняк А. Г., Селиванов В. В. Боеприпасы: учебник в 2 т. / под общей ред. В. В. Селиванова. – Москва: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2016. Т.2. – 551 с.
15. Сакович Л. Н., Рыжов Е. В. Методика предварительной дефектации аппаратных связей с множественными повреждениями в полевых условиях // Вісник НТУУ «КПІ». Сер. Приладобудування. 2017. № 53 (1). С. 32-38.

### References

1. Chikhachev A. V., Doroshenko G. P., Burlakov A. A. *Sistema vooruzheniya i voennoj tekhniki* [Weapons and Military Equipment System]. St. Petersburg, Military Academy of Communications Publ., 2015. 316 p. (in Russian).
2. Chikhachev A. V., Tretiakov S. M., Kiselev D. V. *Tekhnicheskoe obespechenie svyazi i avtomatizacii* [Technical Support for Communications and Automation]. St. Petersburg, Military Academy of Communications Publ., 2017. 302 p. (in Russian).
3. Kobzar P. E., Popov B. I., Gushchin S. A., Kazantsev I. V., Konkin S. V., Gavrikov A. A., Katunin F. A., Shirobokov Yu. V. *Tekhnicheskoe obespechenie* [Technical support]. Omsk armored engineering institute Publ., 2019. - Mode of access: local network St. Petersburg, Military Academy of Communications. (in Russian).
4. Balagansky I.A., Merzhievsky L.A. *Dejstvie sredstv porazheniya i boeprilasov* [Action of means of destruction and ammunition]. Novosibirsk State Technical University Publ. 2017. 408 p. (in Russian).
5. Babkin A. V., Veldanov V. A., Gryaznov E. F., Imhovik N. A., Kobylkin I. F., Kolpakov V. I., Ladov S. V., Orlenko L. P., Okhitin V. N., Rishniak A. G., Selivanov V. V. *Boeprilasyy* [Ammunition] Edit by V. V. Selivanov. Bauman Moscow State Technical University Publ. 2016. Vol. 1. 506 p. (in Russian).

6. Semenov S. S., Chikhachev A. V., Gusev A. P., Doroshenko G. P. *Perspektivy razvitiya vooruzheniya, voennoj i special'noj tekhniki* [Prospects for the development of weapons, military and special equipment]. St. Petersburg, Military Academy of Communications Publ., 2016. 154 p. (in Russian).
7. Belokopytov S. V., Kolunin A. V., Belokopytov A. V. Aktual'nye voprosy organizacii vojskovogo remonta v usloviyah voennyh lokal'nyh konfliktov [Actual issues of the organization of military repair in the conditions of military local conflicts]. *Proceedings of Tula State University. Technical sciences*. 2018. No. 12. Pp. 328-335 (in Russian).
8. Popov B. I., Konkin S. V., Bazarov N. B. Napravleniya razvitiya tekhnicheskoy razvedki [The directions of development of technical intelligence]. *Scientific bulletin of the Volsky military institute of material support*. 2018. No. 3 (47). Pp. 46-49 (in Russian).
9. Samarsky A. A., Mikhailov A. P. *Matematicheskoe modelirovanie: Idei. Metody. Primery* [Mathematical Modeling: Ideas. Methods. Examples]. Moscow, Physical and mathematical literature Publ., 2002. 320 p. (in Russian).
10. Buravlev A. I., Brezgin V. S. Metodika ocenki ushcherba pri imitacionnom modelirovanii ogneвого porazheniya ob"ektov [Methodology of damage assessment in simulation modeling of fire defeat of objects]. *Armament and Economy*. 2012. No. 5 (21). Pp. 13-21. (in Russian).
11. Orlenko L. P. *Fizika vzryva i udara* [Physics of Explosion and Impact]. Moscow, Physical and mathematical literature Publ., 2006. 304 p. (in Russian).
12. Khristenko Y. F., Tolkachev V. F., Konyaev A. A., Gerasimov A. V., Pashkov S. V., Trushkov V. G., Glazyrin V. P., Y. N. Orlov, S. A. Zelepugin. *Vysokoskorostnoj udar. Modelirovanie i eksperiment* [High velocity impact. Modeling and experiment] Edited by A. V. Gerasimov. Tomsk, Scientific and technical literature Publ., 2016. 568 p. (in Russian).
13. Sufiyarov V. G. *Reshenie zadachi kompleksnogo modelirovaniya artillerijskogo vystrela s primeneniem vizual'nyh tekhnologij dlya proektirovaniya i otrabotki artillerijskih sistem*. Diss. doct. tehn. nauk [The solution of the problem of complex modeling of an artillery shot using visual technologies for the design and development of artillery systems. Ph.D. Tesis]. Izhevsk, M. T. Kalashnikov State Technical University, 2016. 302 p. (in Russian).
14. Babkin A. V., Veldanov V. A., Gryaznov E. F., Imhovich N. A., Kobylkin I. F., Kolpakov V. I., Ladov S. V., Orlenko L. P., Okhitin V. N., Rishniak A. G., Selivanov V. V. *Boepripasy* [Ammunition] Edited by V. V. Selivanov. Bauman Moscow State Technical University Publ. 2016. Vol. 2. 556 p. (in Russian).
15. Sakovich L. N., Ryzhov E. V. Metodika predvaritel'noj defektacii apparatnyh svyazey s mnozhestvennymi povrezhdeniyami v polevyh usloviyah [Methodology of preliminary defecting of hardware connections with multiple damages in field conditions]. *Bulletin of the National Technical University of Ukraine Kyiv Polytechnic Institute series Instrumentation*, 2017. No. 53 (1). Pp. 32-38. (in Russian).

**Статья поступила 22 ноября 2022 г.**

### **Информация об авторах**

*Семенов Сергей Сергеевич* – Доктор технических наук, профессор кафедры технического обеспечения связи и автоматизации Военной академии связи. Область научных интересов: техническое обеспечение связи и автоматизации, имитационное моделирование сложных технических систем, объектно-ориентированное программирование. E-mail: semsem@yandex.ru.

*Вылков Александр Сергеевич* – Адъюнкт Военной академии связи. Область научных интересов: техническое обеспечение связи и автоматизации, системы инженерного анализа. E-mail: asvyлков@mail.ru.

*Ерыгин Вадим Викторович* – Преподаватель кафедры технического обеспечения связи и автоматизации Военной академии связи. Область научных интересов: техническое обеспечение связи и автоматизации. E-mail: vadim.erygin@yandex.ru.

Адрес: 194064, Россия, г. Санкт-Петербург, просп. Тихорецкий д. 3.

## Analysis of Scientific and Methodological Apparatus for Preliminary Defection of Military Communication Equipment under Enemy Fire Defeat Conditions

Semenov S.S., Vylkov A.S., Erygin V.V.

**Annotation: Statement of the problem:** *On the basis of the analysis of existing models of defeat of military communication equipment, methods for preliminary defectification of military communication equipment under conditions of fire defeat, to determine the scientific methodological apparatus, allowing to increase the efficiency of preliminary defectification of military communication equipment under conditions of fire defeat of the enemy by conventional weapons. **The aim of the work** is to consider the available ways of simulating the defeat of military communications equipment, possible methods of preliminary defecting of military communications equipment, the justification of their use in modern conditions, as well as identifying further directions of improvement and development. **Methods used:** in the course of the analysis of the available scientific and methodological apparatus for modeling the defeat of communications equipment and preliminary defectification when carrying out technical reconnaissance measures, the possible methods of modeling defeat and determining the degree of damage of hardware field communications nodes - analytical, simulation, numerical - are considered. The concept of continuum mechanics is explained. **The novelty** of the study lies in the fact that the existing models and methods of assessing the degree of combat damage and determining the amount of required repair work of field communication equipment carried out by crews, personnel of technical reconnaissance teams, technical observation points considered the conduct of preliminary defectization without taking into account the real geometric parameters of damage, such as the size of penetration of shrapnel field of munitions, the depth of penetration of splinters, taking into account the design features of communication equipment affecting the passage. **The result** of the conducted analysis lies in the fact that in order to form a rational repair queue and scope of repair works, to choose an error-free strategy of rehabilitation repair, it is necessary to form a methodology of preliminary defectization on the basis of qualitative characteristics of the damage resulting from the enemy fire action, identified by simulating the fire damage of military communication equipment.*

**Keywords:** *preliminary defecting, continuum mechanics, numerical modeling, restoration of communication equipment, technical reconnaissance, combat damage, the defeating factors of modern conventional weapons, shrapnel field, structural parameters, labor intensity, labor costs.*

### Information about Authors

*Semenov Sergey Sergeevich* – Doctor of Technical Sciences, professor of the department of technical support of communication and automation of the Military Academy of Communications. Research interests: technical support of communication and automation, simulation modeling of complex technical systems, object-oriented programming. E-mail: semsem@yandex.ru.

*Vylkov Alexander Sergeevich* – Adjunct of Military Academy of Communication. Research interests: technical support of communication and automation, engineering analysis systems. E-mail: asvylkov@mail.ru.

*Yerygin Vadim Viktorovich* – Lecturer, Technical Support of Communication and Automation Department, Military Academy of Communication. Research interests: technical support of communications and automation. E-mail: vadim.erygin@yandex.ru.

Address: 194064, Russia, St. Petersburg, Tikhoretskiy prospect, 3.

**Для цитирования:** Семенов С. С., Вылков А. С., Ерыгин В. В. Анализ научно-методического аппарата для проведения предварительной дефектации техники связи военного назначения в условиях огневого поражения противника // Техника средств связи. 2022. № 4 (160). С. 45-58. DOI: 10.24412/2782-2141-2022-4-45-58.

**For citation:** Semenov S. S., Volkov A. S., Erygin V. V. Analysis of scientific and methodological apparatus for conducting preliminary defection of military communications equipment in conditions of enemy fire damage // Means of Communication Equipment. 2022. No. 4 (160). Pp. 45-58. DOI: 10.24412/2782-2141-2022-4-45-58.(in Russian).

**СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ**

УДК 621.317

DOI: 10.24412/2782-2141-2022-4-59-65

**Модель оценки качества системы мониторинга технического состояния техники связи и автоматизированных систем управления телекоммуникационных сетей специального назначения**

Боговик А. В., Сафиулов Д. М.

**Аннотация.** В статье рассматривается качество системы мониторинга технического состояния техники связи, которое характеризуется совокупностью существенных свойств, как структурных, так и свойств реализуемого ею процесса сбора измерительной информации (оперативностью, полнотой, ресурсопотреблением), обуславливающими его пригодность к целевому применению для мониторинга телекоммуникационных сетей специального назначения. Оценка качества системы мониторинга технического состояния техники связи позволит рассмотреть целесообразность ее применения в соответствующем виде в качестве подсистемы автоматизированной системы управления связью оперативно объединенных сетей. **Целью работы** заключается в нахождении математических выражений, определяющих оценку существенных свойств процесса сбора информации, реализуемого системой мониторинга технического состояния техники связи, которые позволят оценить эту систему в целом. **Новизна:** используемые в настоящее время методы оценки качества системы мониторинга технического состояния техники связи не учитывают показателей всех существенных свойств процесса сбора информации. В работе для достижения целей по необходимой точности оценки качества существующей и перспективной системы мониторинга, рассматриваются оперативность, полнота и ресурсопотребление процесса сбора информации. **Результат:** в статье представлена модель оценки качества системы мониторинга технического состояния техники связи и автоматизированных систем управления телекоммуникационных сетей специального назначения. **Практическая значимость** работы заключается в использовании ее результатов в решении задач проектирования и построения системы мониторинга на предприятиях промышленности, а также в работе должностных лиц органов управления связью при планировании применения системы мониторинга телекоммуникационных сетей специального назначения в структуре подсистем поддержки процессов оперативно-технического и технологического управления автоматизированной системы управления связью оперативно объединенных сетей.

**Ключевые слова:** автоматизированная система управления связью, качество системы мониторинга, оперативность, полнота, процесс сбора измерительной информации, ресурсопотребление, сети специального назначения.

**Введение**

На современном этапе развития информационно-телекоммуникационных систем и сетей (ИТКС) общего пользования в процессе их функционирования возникает ряд нерешенных задач, среди которых важное место занимает задача своевременного (в режиме реального времени или близкого к нему) получения достоверной информации о состоянии территориально-распределенной ИТКС, необходимой для организации процессов управления сетью связи как со стороны органов управления связью, так и автоматизированной системой управления связью [1]. В значительной степени на решение данной задачи оказывает влияние то, как организована система мониторинга (СМ) технического состояния техники связи и автоматизированных систем управления (ТС и АСУ), какова ее структура и как произведена оценка ее качества. Поэтому вопросы формирования СМ технического состояния ТС и АСУ, являются исключительно актуальными. Для достижения целей формирования качественной структуры СМ необходим соответствующий подход к оценке свойств подсистемы, реализующей процесс сбора измерительной информации (ИИ).

### 1. Структура системы, реализующей процесс сбора измерительной информации

Процесс сбора ИИ в телекоммуникационных сетях специального назначения, как и любой целенаправленный процесс, характеризуется соответствующим качеством. Под процессом сбора ИИ понимается совокупность операций, процедур и работ, целью которых является получение информации о состоянии контролируемого объекта ТС и АСУ [2].

Система, реализующая процесс сбора ИИ в надсистеме мониторинга технического состояния ТС и АСУ должна представлять определенную структуру, включающую подсистемы:

- информационной обработки и анализа, реализующую функции сбора, обработки, передачи, анализа информации о состоянии ТС и АСУ;
- учета, реализующую функции хранения, распределения, преобразования поступающей информации о состоянии ТС и АСУ;
- безопасности;
- управления [3], рис. 1.

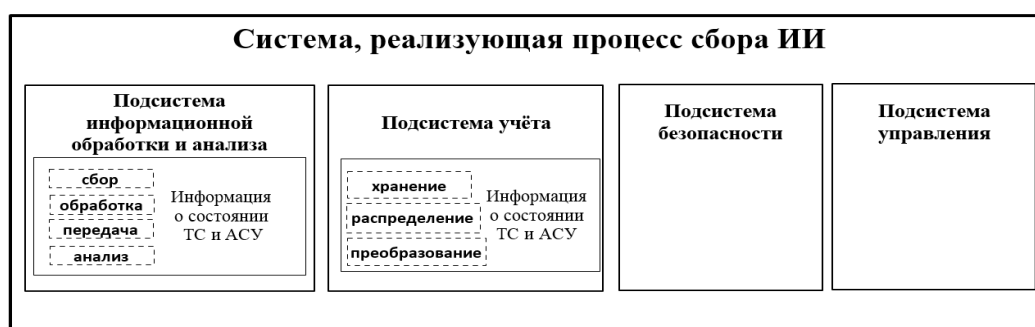


Рис. 1. Структура системы, реализующей процесс сбора ИИ

Под мониторингом ТС и АСУ понимается комплекс мероприятий, основанный на непрерывном или периодическом наблюдении, включающий в себя сбор, обработку и хранение информации о параметрах телекоммуникационного оборудования и сетевых характеристиках, их количественном оценивании реального и прогнозируемого состояния под влиянием конструктивных и деструктивных факторов [3].

Качество процесса сбора ИИ может рассматриваться, как совокупность существенных свойств: оперативности, полноты, ресурсопотребления, обуславливающих его пригодность к целевому применению для мониторинга ТС и АСУ в телекоммуникационных сетях специального назначения.

Принятие решения в системах управления военного назначения является, пожалуй, центральным и определяющим процессом в общей структуре управления, так как оно направлено собственно на выработку управляющих воздействий (решений).

Из теории принятия решений известно, что управленцу для качественного принятия решения, на каждом его этапе необходима актуальная и достоверная информация [4]. На организационном уровне управления наличие такой информации может быть обеспечено СМ, обладающей соответствующим качеством.

Таким образом оценивать СМ технического состояния ТС и АСУ в телекоммуникационных сетях специального назначения следует по показателям оперативности, полноты и ресурсопотребления процесса сбора ИИ.

### 2. Оперативность процесса сбора измерительной информации

Прежде чем оценивать оперативность процесса сбора информации, нужно установить объект контроля, в роли которого рассматривается подсистема сбора ИИ, ее структурная схема представлена на рис. 2.

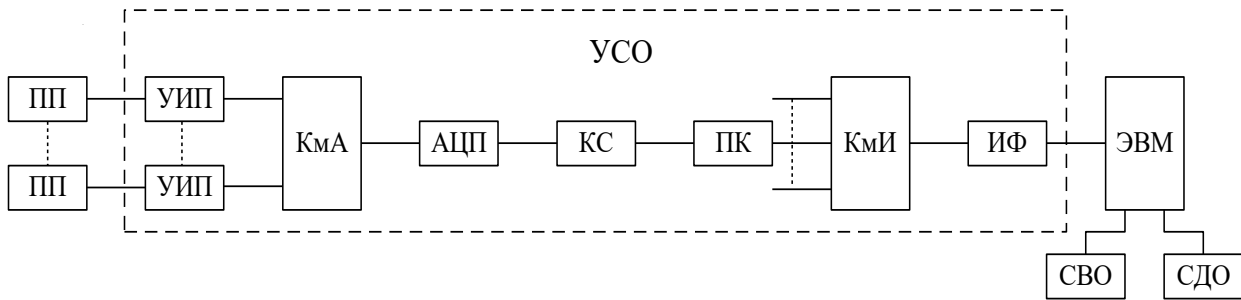


Рис. 2. Структурная схема подсистемы сбора ИИ: ПП – первичный преобразователь (датчик); УИП – унифицирующий преобразователь; КМА – коммутатор аналоговых сигналов; АЦП – аналого-цифровой преобразователь; КС – канал связи; ПК – преобразователь кодов; КМИ – коммутатор импульсных сигналов; ИФ – интерфейс; СВО – средство визуального отображения данных; СДО – средство документального отображения данных; УСО – устройство связи с объектом автоматизации

АСУ технологическими процессами имеют иерархическую структуру:

- уровень I – объект управления (ОУ). Здесь под ОУ понимаются все объекты, участвующие в технологическом процессе (или взаимосвязанных процессах);
- уровень II – датчики. Этот уровень содержит компоненты либо предоставляющие информацию о состоянии технологического процесса (первичные преобразователи), либо компоненты, воздействующие на объект управления;
- уровень III – устройства связи с объектами автоматизации. Уровень включает компоненты, обеспечивающие сопряжение вычислительных устройств (управляющих контроллеров) с датчиками;
- уровень IV – управляющие контроллеры. Уровень включает вычислительные устройства, обеспечивающие непосредственное управление ОУ или его составляющими;
- уровень V – диспетчеризация. Уровень содержит компоненты, обеспечивающие визуализацию и архивирование параметров технологического процесса, воздействие персонала на технологический процесс.

Важным компонентом АСУ сбора информации и АСУ технологическими процессами является программное обеспечение. Программное обеспечение АСУ относится к уровням управляющих контроллеров, диспетчеризации, а также сетевому взаимодействию.

Далее для расчета оперативности процесса сбора ИИ следует выделить все промежутки времени, которые требуются также для анализа оперативности формирования измерительной информации. Такими промежутками могут являться:

- время, необходимое для совершения процедуры измерений величин необходимых параметров, определяющих техническое состояние контролируемого ТС и АСУ ( $T_o$ );
- время, затраченное на регистрацию информации ( $T_p$ );
- время, ушедшее на передачу информации в обработку ( $T_{по}$ );
- время обработки информации ( $T_{об}$ );
- время на доведение информации должностным лицам соответствующего звена управления ( $T_{ддл}$ );
- время, прошедшее с начала процедуры измерения до получения должностными лицами соответствующего звена управления необходимой информации о состоянии ТС и АСУ ( $T_\phi$ ) [5].

При этом справедливо следующее выражение:

$$T_\phi = T_o + T_p + T_{по} + T_{об} + T_{ддл}. \quad (1)$$

Следовательно, можно рассчитать общую оперативность сбора измерительной информации ( $I_{ос}$ ), оперативность ее обработки ( $I_{об}$ ), регистрации ( $I_p$ ), приема и передачи ( $I_n$ ):

$$I_{ос} = T_o / T_\phi \cdot 100 \%, \quad (2)$$

$$I_{об} = T_{об} / T_{ф} \cdot 100 \%, \quad (3)$$

$$I_{р} = T_{р} / T_{ф} \cdot 100 \%, \quad (4)$$

$$I_{п} = (T_{по} + T_{дл}) / T_{ф} \cdot 100 \%. \quad (5)$$

Изучение оперативности сбора ИИ на различных участках подсистемы сбора ИИ, ее факторный анализ позволят определить эффективность процесса сбора информации о состоянии ТС и АСУ в телекоммуникационных сетях специального назначения. В свою очередь наличие информации об оперативности подсистемы, реализующей процесс сбора ИИ позволяет судить о качестве вышестоящей СМ.

### 3. Полнота процесса сбора измерительной информации

Под полнотой процесса сбора ИИ понимается свойство подсистемы сбора ИИ обеспечивать выполнение всего перечня операций, процедур и работ по реализации процессов сбора, обработки, передачи, анализа, хранения, распределения и преобразования информации о состоянии ТС и АСУ в телекоммуникационных сетях специального назначения. Полнота (целостность) процесса должны включать весь набор элементов, обеспечивающих необходимую завершенность действий в достижении поставленной цели для эффективного функционирования СМ [6].

Для определения полноты процесса сбора ИИ необходимо выделить операции (процедуры), реализующие этот процесс и определить полноту выполнения каждой из них. Такими операциями (процедурами) могут быть:

- измерение величин необходимых параметров, определяющих техническое состояние контролируемой ТС и АСУ ( $X_1$ );
- регистрация информации ( $X_2$ );
- передача информации в обработку ( $X_3$ );
- обработка информации ( $X_4$ );
- доведение информации должностным лицам соответствующего звена управления ( $X_5$ ).

Для определения полноты каждой из этих операций (процедур) должны быть соблюдены условия выполнения следующих требований:

$$X_{1тр} = X_{1тно} + X_{1сви}, \quad (6)$$

где  $X_{1тр}$  – требуемая полнота измерения величин необходимых параметров, определяющих техническое состояние контролируемой ТС и АСУ;  $X_{1тно}$  – точность используемого измерительного оборудования;  $X_{1сви}$  – своевременность измерения;

$$X_{2тр} = X_{2тз} + X_{2хк}, \quad (7)$$

где  $X_{2тр}$  – требуемая полнота регистрации информации;  $X_{2тз}$  – полнота и точность записи всех измеренных значений;  $X_{2хк}$  – надлежащее хранение и резервное копирование записанной информации;

$$X_{3тр} = X_{3бнд} + X_{3сп}, \quad (8)$$

где  $X_{3тр}$  – требуемая полнота передачи информации в обработку;  $X_{3бнд}$  – безопасная и надежная передача данных;  $X_{3сп}$  – своевременная передача информации;

$$X_{4тр} = X_{4па} + X_{4но} + X_{4со} + X_{4ди}, \quad (9)$$

где  $X_{4тр}$  – требуемая полнота обработки информации;  $X_{4па}$  – правильное применение алгоритмов обработки;  $X_{4но}$  – надлежащая обработка отсутствующих или неполных данных;  $X_{4со}$  – своевременная обработка информации;  $X_{4ди}$  – доведение информации до должностных лиц соответствующего уровня управления;

$$X_{5тр} = X_{5тпп} + X_{5сс} + X_{5уд}, \quad (10)$$

где  $X_{5тр}$  – требуемая полнота доведения информации должностным лицам соответствующего звена управления;  $X_{5тпп}$  – точная и полная передача обработанной информации;  $X_{5сс}$  – своевременность сообщения;  $X_{5уд}$  – соответствующий уровень детализации и формат для целевой аудитории.

Определим  $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_3$ ,  $X_4$  и  $X_5$  как двоичные переменные, где 1 означает, что процедура полностью завершена, а 0 означает, что это не так.

Общая полнота процесса ( $C$ ) может быть определена как средневзвешенное значение полноты каждой процедуры следующим образом:

$$C = (w_1X_1 + w_2X_2 + w_3X_3 + w_4X_4 + w_5X_5) / (w_1 + w_2 + w_3 + w_4 + w_5), \quad (11)$$

где  $w_1, w_2, w_3, w_4$  и  $w_5$  – веса, присвоенные каждой процедуре, отражающие ее относительную важность при определении общей полноты. Эти веса должны в сумме равняться 1.

Например, если  $w_1 = 0,3, w_2 = 0,1, w_3 = 0,2, w_4 = 0,3$  и  $w_5 = 0,1$ , то общая полнота процесса будет рассчитана следующим образом:

$$C = (0,3X_1 + 0,1X_2 + 0,2X_3 + 0,3X_4 + 0,1X_5) / (0,3 + 0,1 + 0,2 + 0,3 + 0,1). \quad (12)$$

Основываясь на представленной выше математической модели (11), предложен метод оценки полноты процесса сбора информации о состоянии ТС и АСУ. Модель обеспечивает простой и интуитивно понятный способ расчета общей полноты процесса путем учета завершения каждой задействованной операции (процедуры) и взвешивания их в соответствии с их относительной важностью. Это позволяет провести всестороннюю оценку эффективности подсистемы сбора ИИ и помогает определить области для работы над ее совершенствованием.

Модель может дать ценную информацию о производительности анализируемой подсистемы и может быть использована для поддержки разработки стратегий повышения полноты процесса сбора информации.

#### 4. Ресурсопотребление

Процесс сбора информации о состоянии ТС и АСУ в телекоммуникационных сетях специального назначения, как и любой другой процесс, характеризуется количеством расходуемых ресурсов. В качестве определяющих можно выделить временной ресурс ( $T_{упр}$ ) и ресурс технической основы мониторинга ( $N^p_{тех}$ ). Именно эти два вида ресурса определяют потенциальные возможности органа управления владеть актуальной и достоверной информацией для решения задач технического обеспечения связи и АСУ.

Кроме того, в расчетную формулу может быть введен коэффициент автоматизации  $\alpha$ , учитывающий прирост возможностей органа управления с внедрением перспективных информационных технологий.

Тогда выражение для определения ресурса процесса сбора измерительной информации имеет вид:

$$R_{си} = \alpha N^p_{тех} T_{упр}. \quad (13)$$

Оценку ресурсопотребления можно производить на основе использования коэффициента ресурсопотребления  $k_{рп}$ , вычисляемого как отношение реально расходуемого ресурса к имеющемуся ресурсу процесса сбора измерительной информации [7].

Этот анализ подчеркивает важность учета потребления ресурсов в процессе сбора ИИ, поскольку это оказывает прямое влияние на потенциальные возможности соответствующего органа управления обладать актуальной и достоверной информацией. Эта информация может иметь ключевое значение при решении проблем, связанных с выполнением задач технического обеспечения связи и АСУ.

#### Заключение

При проектировании СМ технического состояния ТС и АСУ по заданным техническим и эксплуатационным характеристикам возникает задача выбора рациональной структуры и набора технических средств для ее построения. Изучение процесса сбора измерительной информации, его существенных свойств и факторный анализ позволят определить эффективность функционирования такой системы для достижения целей, связанных с решением задач технического обеспечения связи и АСУ. В свою очередь наличие информации о свойствах СМ позволяет судить о качестве вышестоящей системы управления связью.

В статье представлена модель оценки качества СМ технического состояния ТС и АСУ телекоммуникационных сетей специального назначения. Качество системы оценивается на



основе трех существенных свойств, реализуемого ею процесса сбора ИИ: оперативности, полноты и ресурсопотребления. Предложен метод оценки полноты процесса сбора ИИ, который учитывает завершение каждой операции и взвешивает их в соответствии с их относительной важностью. Кроме того, потребление ресурсов процессом оценивается на основе коэффициента потребления ресурсов. Результаты этого исследования могут быть использованы при проектировании и построении СМ, а также при планировании использования СМ для сетей специального назначения. Необходимы дальнейшие исследования для подтверждения модели потребления ресурсов и изучения ее применения.

### Литература

1. Будко Н. П. Концептуальная модель подсистемы интеллектуального мониторинга состояния информационно-телекоммуникационной сети общего пользования // Системы управления, связи и безопасности. 2021. № 5. С. 65-119. DOI: 10.24412/2410-9916-2021-5-65-119.
2. Ревин В. Т. Автоматизация метрологических работ: учеб.-метод. пособие.– Минск: БГУИР, 2011. – 64 с.
3. Шептура В. Н., Чиркунов М. В. Подходы к организации мероприятий технической эксплуатации техники связи и автоматизированных систем управления Вооруженных Сил Российской Федерации // Военная мысль. 2021. № 3. С. 64-72.
4. Тебекин А. В. Методы принятия управленческих решений: учебник для вузов. – Москва: Издательство Юрайт. 2023. – 431с.
5. Балонкин В. Г. Методика измерения уровня оперативности и аналитичности учетной информации // Экономические науки. 2009. № 61. С. 401-405.
6. Герасимов Б. Н. Методология управления. Инновационные и традиционные методологические инструменты: монография. Самара: Изд-во Университет «Мир», 2021. – 292 с.
7. Боговик А.В., Игнатов В.В. Теория управления в системах военного назначения: Учеб. – СПб.: ВАС, 2008. – 460 с.

### References

1. Budko N. P. Conceptual model of the subsystem of intelligent monitoring of the state of a public information and telecommunication network. Systems of Control, communication and Security, 2021, no. 5, pp. 65-119. DOI: 10.24412/2410-9916-2021-5-65-119. (In Russian).
2. Revin V. T. Automation of metrological works: studies.- method. manual.– Minsk: BGUIR, 2011. – 64 p. (In Russian).
3. Sheptura V. N., Chirkunov M. V. Approaches to the organization of measures for the technical operation of communication equipment and automated control systems of the Armed Forces of the Russian Federation // Military thought. 2021. No. 3. Pp. 64-72. (In Russian).
4. Tebekin A. V. Methods of managerial decision-making: textbook for universities. Moscow. Yurayt Publishing House. 2023. 431 p. (In Russian).
5. Balonkin V. G. Methodology for measuring the level of efficiency and analyticity of accounting information. Economic sciences. 2009. No. 61. Pp. 401-405. (In Russian).
6. Gerasimov B. N. Management methodology. Innovative and traditional methodological tools: monograph. Samara: Publishing house of the University "MIR", 2021. – 292 p. (In Russian).
7. Bogovik A. V., Ignatov V. V. Theory of control in military systems: Studies. St. Petersburg. VAS, 2008. 460 p. (In Russian).

Статья поступила 05.02.2023 г.

### Информация об авторах

*Боговик Александр Владимирович* – профессор кафедры Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного. Область научных интересов: теория управления в системах военного назначения. Тел. +7 (812) 247-98-42, e-mail: bogovikav@mail.ru.

*Сафиулов Давлет Муратович* – адъюнкт кафедры Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного. Область научных интересов: контроль и мониторинг телекоммуникационных систем. Тел. +7 (812) 247-98-42. E-mail: davletzas@mail.ru.

Адрес: 194064, Россия, г. Санкт-Петербург, Тихорецкий проспект, д. 3.

## **A model for assessing the quality of a system for monitoring the technical condition of communication equipment and automated control systems of special-purpose telecommunication networks**

*A.V. Bogovik, D.M.Safiullov*

**Annotation.** *The article considers the quality of the system for monitoring the technical condition of communication technology, which is characterized by a set of essential properties, both structural and properties of the process of collecting measuring information implemented by it (efficiency, completeness, resource consumption), which determine its suitability for targeted use for monitoring special-purpose telecommunications networks. The assessment of the quality of the system for monitoring the technical condition of communication equipment will allow us to consider the feasibility of its application in an appropriate form as a subsystem of an automated communication management system of an operational association. **The purpose of the work** is to find mathematical expressions that determine the assessment of the essential properties of the information collection process implemented by the monitoring system of the technical condition of communication technology, which will allow to evaluate this system as a whole. **Novelty:** currently used methods for assessing the quality of the monitoring system of the technical condition of communication equipment do not take into account the indicators of all the essential properties of the information collection process. In order to achieve the goals of the necessary accuracy of assessing the quality of the existing and prospective monitoring system, the efficiency, completeness and resource consumption of the information collection process are considered. **Result:** the article presents a model for assessing the quality of a system for monitoring the technical condition of communication equipment and automated control systems of special-purpose telecommunication networks. **The practical significance** of the work lies in the use of its results in solving the problems of designing and building a monitoring system at industrial enterprises, as well as in the work of officials of communication management bodies when planning the use of a monitoring system for special-purpose telecommunications networks in the structure of subsystems for supporting the processes of operational, technical and technological management of an automated communication management system of an operational association.*

**Keywords:** *automated communication management system, monitoring system quality, efficiency, completeness, measurement information collection process, resource consumption, special purpose networks.*

### **Information on Autors**

*Bogovik Alexander Vladimirovich* – Professor of the Department of the Military Academy of Communications named after Marshal of the Soviet Union S. M. Budyonny. Field of research: Theory of control in military systems. Tel. +7 (812) 247-98-42. E-mail: bogovikav@mail.ru .

*Safiullov Davlet Muratovich* – adjunct of the Department of the Military Academy of Communications named after Marshal of the Soviet Union S. M. Budyonny. Field of research: Control and monitoring of telecommunication systems. Tel. +7 (812) 247-98-42. E-mail: davletzas@mail.ru.

Address: 194064, Russia, St. Petersburg, Tikhoretskiy prospect, 3.

**Для цитирования:** Боговик А.В., Сафиулов Д.М. Модель оценки качества системы мониторинга технического состояния техники связи и автоматизированных систем управления транспортной сети связи оперативного объединения // Техника средств связи. 2022. № 4 (160). С. 59-65. DOI: 10.24412/2782-2141-2022-4-59-65.

**For citation:** Bogovik A.V., Safiullov D.M. A model for assessing the quality of the monitoring system of the technical condition of communication equipment and automated control systems of the transport communication network of the operational association. Means of Communication Equipment. 2022. No. 4 (160). Pp. 59-65. DOI: 10.24412/2782-2141-2022-4-59-65. (in Russian).

## Предложения по реализации способа функционального контроля средств радиосвязи автоматизированного радицентра

Голунов М. В.

**Аннотация. Постановка задачи:** важным условием успешного функционирования сети радиосвязи является необходимость выделения им достаточного частотного, аппаратного и других видов ресурсов. При этом эффективность функционирования группы радиолиний, обслуживаемых на автоматизированных радицентрах, зависит не только от того, каким ресурсом располагает тот или иной радицентр, но и в значительной мере от того, каким образом эти ресурсы используются. В этом случае одним из путей повышения эффективности сети радиосвязи является управление ресурсами в радиолинии и на радицентре в целом. В связи с этим весьма актуальными является разработка методов и средств повышения эффективности функционирования и контроля сетей радиосвязи, к числу которых относятся создание систем функционального контроля средств радиосвязи автоматизированных радицентров. **Цель работы** заключается в выработке предложений по реализации способа и устройства функционального контроля средств радиосвязи как на передающем, так и на приемном радицентрах. **Новизна:** в формировании на передающем радицентре матрицы значений показателей качества функционирования радиосредств, что позволяет своевременно определять вид технического состояния радиопередающих устройств с большей полнотой и достоверностью благодаря измерению значений параметров контролируемого сигнала, не на одной фиксированной частоте, а на сетке частот и длительностей информационных посылок, что позволяет сформировать массив значений показателей качества функционирования радиопередающих устройств согласно частотно-временной матрице и, за счет этого, обеспечить большую полноту контроля технического состояния радиосредств и повысить его достоверность. **Практическая значимость** заключается в том, что применение научно-технических предложений по реализации способа функционального контроля средств радиосвязи позволяет: идентифицировать техническое состояние радиосредств на момент функционального контроля; интеллектуализировать анализ накопленных данных результатов контроля технического состояния средств радиосвязи в виде временных рядов, что, в свою очередь, способствует своевременному принятию решения, планированию мероприятий по обслуживанию и ремонту, а так же исключить мероприятия по обслуживанию для тех радиосредств, которые по своему техническому состоянию в нем не нуждаются.

**Ключевые слова:** функциональный контроль, техническое состояние, интеллектуальный анализ данных, средства радиосвязи, надежность, цветовая маркировка.

### Введение

Используемые в настоящее время методы повышения надежности объектов (систем) в своих математических выражениях не учитывают интервал времени неправильного функционирования [1], который возникает из-за нераспознанного (скрытого) параметрического отказа [2], т. е. они определены для случая идеального диагностического обеспечения, что не соответствует действительности. В методике функционального контроля (ФК) средств радиосвязи (СРС) автоматизированного радицентра (АРЦ) [3] показано, что при применении резервирования именно интервал неправильного функционирования СРС будет оказывать основное влияние на их коэффициент готовности и благодаря адаптации радиоволнового метода неразрушающего контроля [4] к ФК СРС это влияние удастся сократить.

В разработанной методике, в отличие от известных, произведен учет интервала неправильного функционирования при обеспечении требуемого значения коэффициента готовности СРС, что позволяет (*практическая значимость*):

1) своевременно, с требуемой достоверностью, выявлять постепенные (скрытые) отказы, как передающих (РПДУ), так и приемных (РПУ) радиосредств, благодаря измерению значений их показателей качества функционирования (ПКФ) [5]. Что способствует повышению коэффициента готовности СРС АРЦ за счет своевременного обнаружения их параметрических отказов;

2) осуществить переход от планово-предупредительной стратегии технического обслуживания радиосредств на АРЦ к техническому обслуживанию по фактическому техническому состоянию (ТОС) [6] за счет репликации данных об их техническом состоянии;

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

Для получения вышеперечисленных потенциальных возможностей от реализации предлагаемой методики необходимо сформулировать общие принципы организации и проведения ФК СРС по ПКФ, а также разработать научно-технические предложения по ее применению непосредственно на объектах АРЦ.

### **1. Общие принципы организации и проведения функционального контроля средств радиосвязи автоматизированного радиопункта по показателям качества функционирования**

При организации и проведении ФК СРС по ПКФ должны быть обеспечены следующие виды технической совместимости [7]:

1) техническая совместимость вида «изделие – метод контроля (испытаний)»: техническая совместимость, характеризующая пригодность метода контроля (испытания) рассматриваемого изделия с заданной точностью и достоверностью;

2) техническая совместимость функциональная: техническая совместимость, характеризующая пригодность к совместному взаимодействию по видам функций, значениям параметров и эксплуатационным характеристикам;

3) техническая совместимость по надежности: техническая совместимость, характеризующая пригодность составных частей изделия обеспечивать требуемые значения показателей надежности изделия в целом.

На первых двух этапах методики обеспечивается техническая совместимость вида «изделие – метод контроля (испытаний)», а также функциональная техническая совместимость «по входу» средств контроля (СК).

На четвертом этапе методики осуществляются мероприятия по сохранению надежностных характеристик СК в процессе применения по назначению.

Следовательно, при организации и проведении ФК СРС по ПКФ необходима техническая (программно-аппаратная) совместимость «по выходу» и управлению СК на АРЦ в виде реализации следующих принципов [8]:

*Принцип автоматизации.* Процессы контроля, сбора, обработки измерительной информации о техническом состоянии (ТС) объекта контроля (ОК), а также доведения ее должностным лицам (лицу, принимающему решение) должны быть автоматическими (автоматизированными).

*Принцип гибкости архитектуры.* Подсистема ФК СРС по ПКФ на основе методологии открытых систем, должна обеспечивать возможность своей реконфигурации (адаптации).

*Принцип эргономичности и дружелюбности интерфейса.* Подсистема ФК СРС по ПКФ должна иметь необходимые формы (звуковые, световые, цифровые) выдачи сигналов предупреждения об отказе, а также возможности отображения, регистрации и документирования результатов контроля (формирования отчетов).

*Принцип взаимодействия.* Подсистема ФК СРС по ПКФ должна взаимодействовать с другими подсистемами контроля ТС, прогнозного контроля через непрерывно формируемый массив данных (базу состояний (БС) ОК, в том числе распределенную базу данных (БД)), что позволяет усилить синергетический эффект достоверности информации, получаемой от разных подсистем функционального контроля АРЦ, сводя к минимуму вероятность ошибок при выработке управляющих воздействий.

*Принцип прогноза.* Подсистема ФК СРС по ПКФ должна иметь возможность функционирования в прогнозирующем режиме, разделяя аварийные сообщения по приоритету: критические (отказ системы) и предаварийные (предупредительные), выявляя возникновения предотказной ситуации.

Таким образом, сформулированы основные принципы организации и проведения ФК СРС по ПКФ, выполнение которых обеспечит «бесшовную интеграцию» СК на АРЦ.

## **2. Способ функционального контроля средств радиосвязи автоматизированного радицентра**

### **2.1. Структурная схема передающего радицентра с измерителем коэффициента подобия сигналов**

Способ функционального контроля средств радиосвязи АРЦ представлен в виде блок-схем алгоритмов первых трех этапов методики и подробно в ней описан. Из третьего этапа методики следует, что измерение ПКФ необходимо осуществлять в процессе функционирования радиолинии (РЛ), отдельно на передающем (ПДРЦ) и приемном (ПРЦ) радицентрах каждой РЛ.

На рис. 1 представлена структурная схема ПДРЦ с  $i$ -канальным измерителем коэффициента подобия сигналов (ИКПС $_i$ ), высокочастотным коммутатором (ВЧ) и малогабаритной измерительной антенной.

На рис. 1 представлены основные блоки ПДРЦ под управлением комплекса средств автоматизации (КСА) ПДРЦ, в составе которой комплекс технических средств (КТС) контроля и управления осуществляет непрерывный мониторинг [9] имеющихся на ПДРЦ средств радиосвязи благодаря данным формируемым встроенными в ОК средствами контроля.

Для осуществления функционального контроля всего радиотракта на ПДРЦ используют «контрольные» РПУ [10] с помощью которых, с определенной периодичностью, проверяют прием тестовых последовательностей на наличие в них ошибок. Данный способ позволяет осуществлять функциональный контроль радиотракта (РПДУ) в целом, но обладает невысокой точностью при определении вида ТС радиосредств из-за невозможности определения значений параметров сформированного радиосигнала.

Согласно методике функционального контроля средств радиосвязи АРЦ при выполнении ее третьего этапа на передающей стороне РЛ необходимо определить ПКФ, как возбудительных устройств (ВУ $_i$ ,  $i \in (1, \dots, n)$ , где  $n$ -количество ВУ, усилителей мощности (УМ) на ПДРЦ) так и РПДУ в целом, что требует дополнительного размещения на ПДРЦ  $i$ -канального, сетевого (управляемого по сети АРЦ) ИКПС $_i$  с совмещенной с контрольными РПУ или отдельной малогабаритной измерительной антенной, а также ВЧ-коммутатора. ВЧ-коммутатор – предназначен для произвольной коммутации выходов ВУ $_i$  (основных и резервных) на входы ИКПС $_i$ .

Таким образом на ПДРЦ формируется трехуровневая система автоматизированного функционально-параметрического контроля (ФПК), подсистемы которой с разной степенью точности осуществляют функциональный контроль РПДУ и имеют следующий вид:

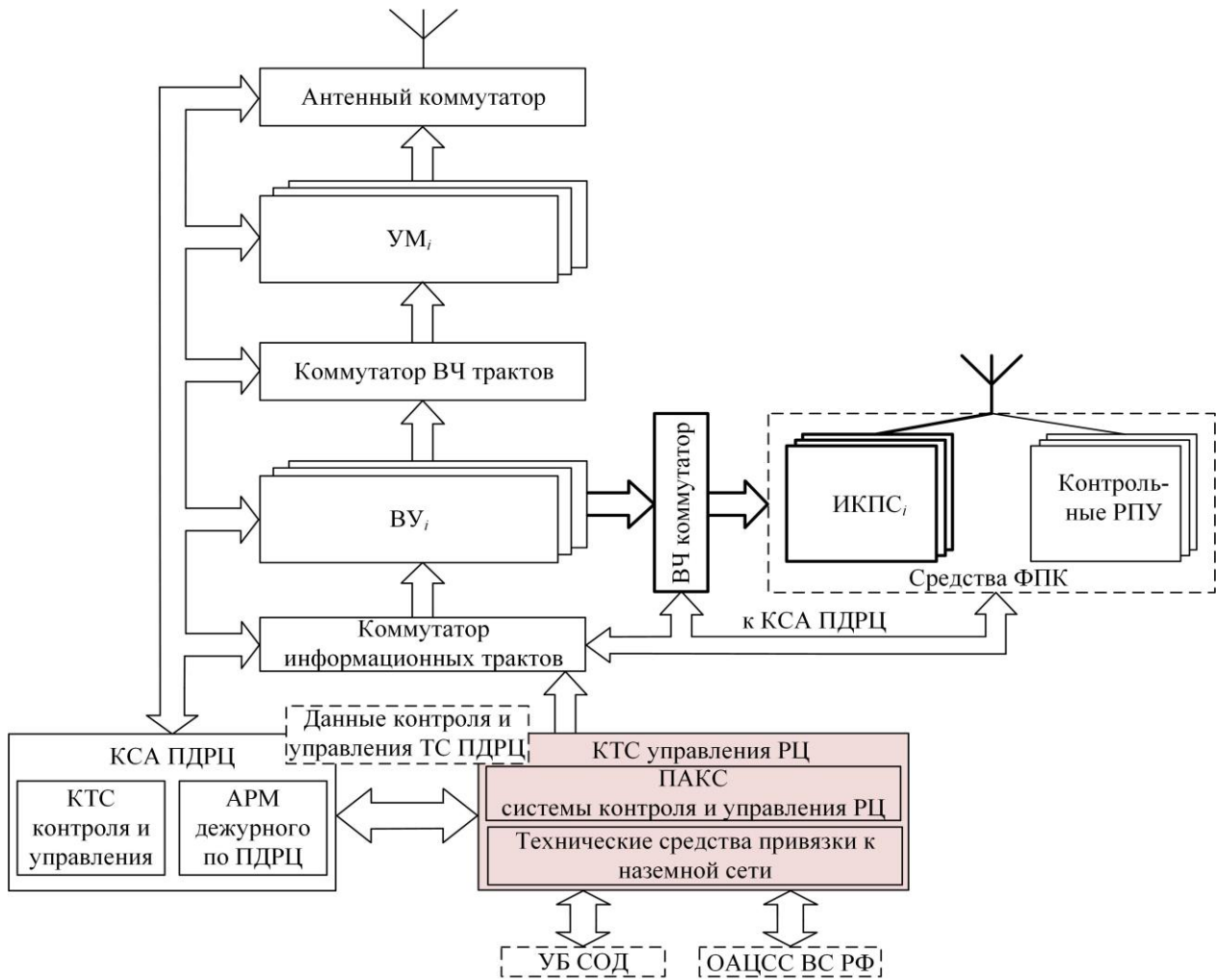


Рис. 1. Структурная схема передающего радиопередатчика с ИКПС<sub>і</sub>, ВЧ коммутатором и малогабаритной измерительной антенной

- 1) встроенные средства функционального контроля (внутрисхемный контроль в режиме «мягкого» реального времени [11]);
- 2) контрольные РПУ (обладает наибольшей полнотой и более высоким значением достоверности функционального контроля по сравнению с первой подсистемой);
- 3) ИКПС<sub>і</sub> (обладает сравнимой со второй подсистемой полнотой контроля, но имеет самый высокий уровень достоверности функционального контроля).

Вторая и третья подсистемы являются внешними по отношению к ОК и осуществляют дискретный функциональный контроль с разной степенью достоверности и дискретности. Так на ПДРЦ для приема тестовых последовательностей используют контрольные, типовые РПУ примерно один раз в час и общем времени контроля, не превышающем нескольких минут, что способствует сохранению их надежностных характеристик.

ИКПС<sub>і</sub> – измерительное СК. Данное устройство на ПДРЦ представляет собой эталонный набор метрик используемых ОК сигналов и является уникальным СК ТС. Частота использования ИКПС<sub>і</sub> по назначению определяется выражением [3] и не превышает одного раза в сутки. Следовательно, на каждом уровне системы контроля производится обмен времени контроля на его достоверность с учетом надежностных характеристик СК, которые обратно пропорциональны их сложности (точности, прецизионности).

### 2.2. Структурная схема приемного радицентра с контролирующими радиоприемными устройствами

Приемным радицентрам для идентификации ТС функционирующих РПУ требуется иметь информацию о ТС окружающих формирователей сигналов (РПДУ), что обеспечивается передачей измеренных значений ПКФ РПДУ на соответствующие ПРЦ, а также информацию о сигнальной и помеховой обстановки в канале связи.

В модели КТС средств радиосвязи АРЦ [12] для идентификации ТС функционирующего РПУ требуется информация о разности коэффициентов (вероятности) ошибок основного и контролирующего РПУ, что возможно обеспечить, например, за счет применения избыточного обнаруживающего кодирования [13], благодаря которому возможно производить оценку качества канала на неограниченном временном интервале, что позволяет осуществить набор достаточных статистических данных о значениях ошибок в канале связи и, за счет структурной избыточности, определить ТС функционирующего РПУ.

На рис. 2 представлена структурная схема ПРЦ с контролирующими РПУ под управлением КТС радицентра (РЦ), в составе которой программно-аппаратный комплекс (ПАКС) системы контроля и управления РЦ с соответствующим программным обеспечением (ПО), осуществляет непрерывный мониторинг имеющихся на ПРЦ СРС благодаря встроенным СК. Кроме того, на ПРЦ поступает информация от ТС радиосредств с ПДРЦ.

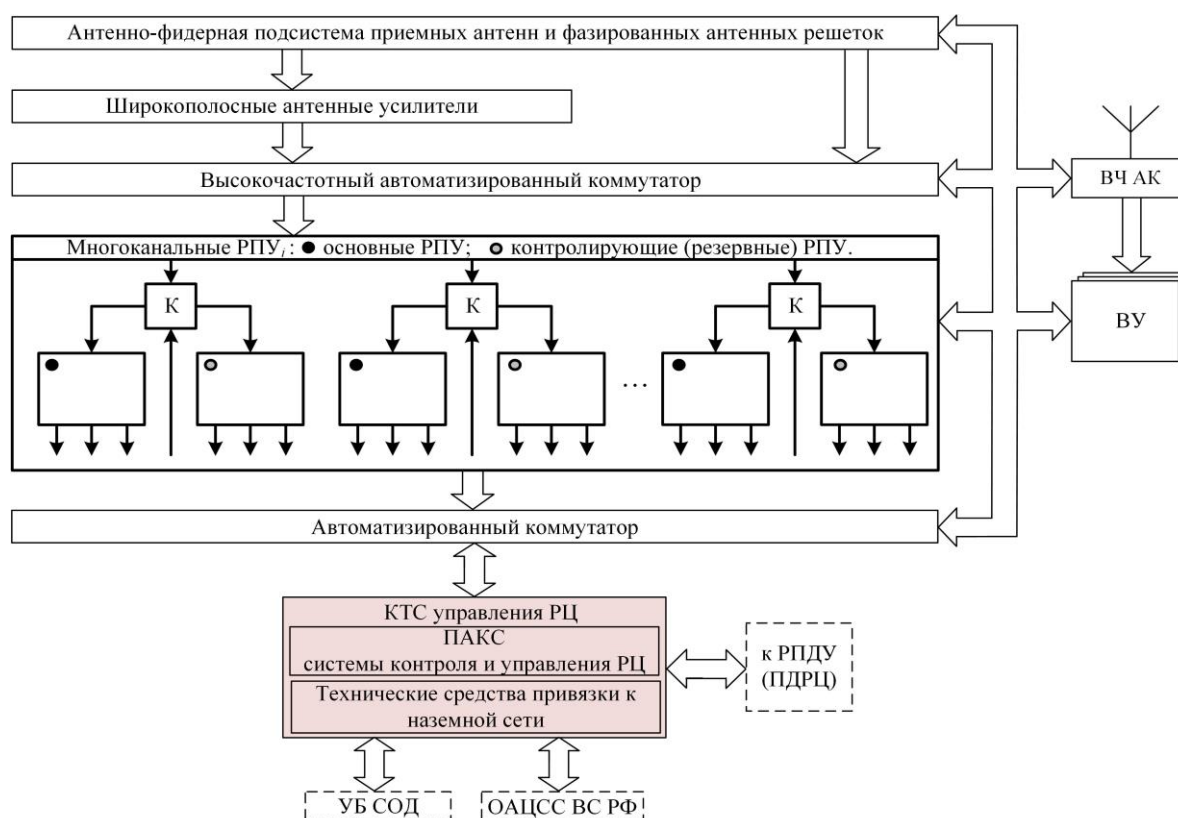


Рис. 2. Структурная схема ПРЦ с контролирующими РПУ

Аналогично контрольным РПУ на ПДРЦ, на ПРЦ используются контрольные ВУ с той же периодичностью.

Отличительная особенность структурной схемы на рис. 2 заключается в использовании контролирующих РПУ и автоматически управляемых ВЧ-ключей (К).

Контролирующие РПУ с одной стороны осуществляют относительную (в том числе и собственную) идентификацию ТС основных РПУ и в этом смысле являются СК, а с другой стороны представляют собой резервные радиосредства. С помощью ВЧ-ключей ПАКС системы контроля и управления РЦ, после предварительной оценки сигнальной и помеховой обстановки в канале связи, осуществляет подключение контролирующих РПУ к основным РПУ. Если в процессе ФК ПКФ основного РПУ превышает его пороговое значение, то ПАКС системы контроля и управления РЦ размыкает плечо подключения основного РПУ, оставляя подключенным резервное (контролирующее) РПУ, реализуя стратегию (ТОС).

Таким образом к дежурному по АРЦ поступает информация как от встроенных средств контроля ПРЦ, ПДРЦ, так и от их средств ФПК, а также ТС «окружения», что, как было отмечено выше, позволяет усилить синергетический эффект достоверности информации получаемой от разных подсистем функционального контроля АРЦ, сводя к минимуму вероятность ошибок при выработке управляющих воздействий.

### 3. Реализация схемы измерителя коэффициента подобия сигналов

Схемы измерения коэффициентов подобия сигналов рассмотрены в работах [14, 15]. На рис. 3 а), б) представлены соответственно структурная схема ИКПС и согласованных фильтров (СФ) при обработке «сложного» сигнала параллельной структуры [16].

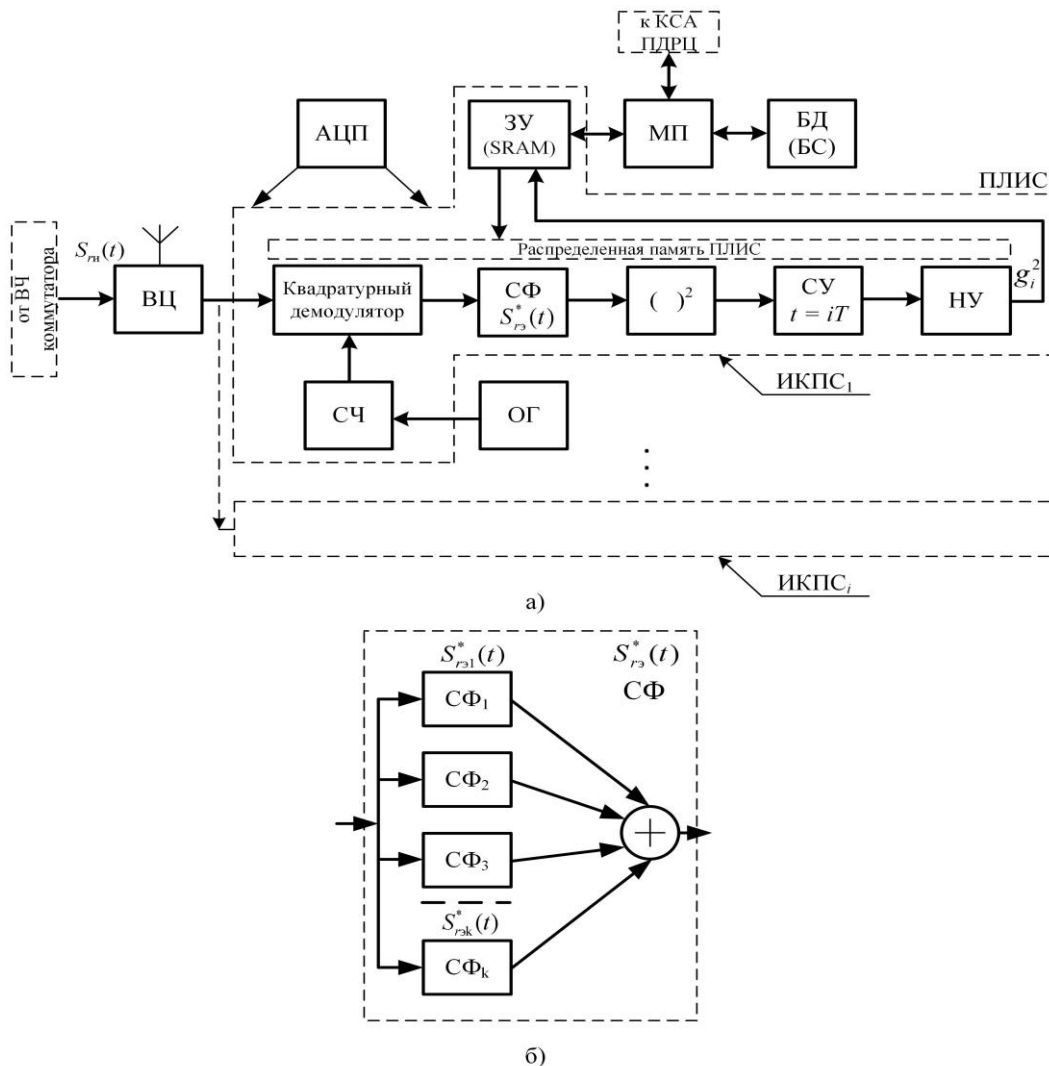


Рис. 3. Структурная схема ИКПС а) и СФ б) при обработке «сложного» сигнала параллельной структуры



Структурную схему ИКПС, представленную на рис. 3 а), можно разделить на схему управления, состоящую из микропроцессора (МП) и БД (БС) и схему измерения, которую за исключением входной цепи (ВЦ), опорного генератора (ОГ) целесообразно реализовывать на программируемых логических интегральных схемах (ПЛИС) или на цифровых сигнальных процессорах. Структуры схем измерения ИКПС<sub>i</sub> задаются программно, которые хранятся в БД ИКПС и в виде конфигурационного файла записываются в запоминающее устройство (ЗУ) (SRAM) ПЛИС. Далее данные конфигурационного файла с помощью распределенной памяти участвуют в формировании схем измерителей из модулей и элементов ПЛИС.

В зависимости от производительности аналого-цифрового преобразователя (АЦП) преобразование радиосигнала в цифровую форму возможно осуществлять до квадратурного перемножителя или после него. При прямом аналого-цифровом преобразовании радиосигнала целесообразнее АЦП размещать в виде отдельной микросхемы из-за значительной потребляемой мощности в процессе работы. В любом случае согласованная фильтрация выполняется над цифровым радиосигналом, предварительно перенесенным на нулевую частоту [17].

На первых двух этапах методики осуществляется формирование первичной информации в БД (БС) комплекса средств автоматизации АРЦ в том числе базы состояний ИКПС, в виде значений  $h_i(t)$  ( $S_{r_i}^*(t)$ ) (где  $h_i(t)$  – импульсная характеристика СФ для обработки  $i$ -го вида сигнала, которая соответствует сигналу комплексно сопряженному с эталонным сигналом  $S_{r_i}^*(t)$ ), которые определяют текущую конфигурацию СФ. Согласованную фильтрацию осуществляют с помощью цифровых фильтров с конечной импульсной характеристикой (КИХ) [18] коэффициенты которого являются отсчетами его импульсной характеристики и реализуются на ПЛИС или на цифровых сигнальных процессорах.

Необходимо отметить высокие требования к характеристикам (стабильность частоты) опорного генератора ИКПС, которые должны быть не ниже чем у объектов контроля.

#### 4. Синтез матрицы значений показателей качества функционирования формирователей сигналов

На третьем этапе методики производятся измерения текущих значений ПКФ ( $g_{i\text{TF}}^2$ ), при значениях длительности элементов сигналов в диапазоне  $T \in \{T_{i1}, \dots, T_{iv}\}$  (где  $T_{iv}$  – длительность элемента сигнала при  $i = \text{const}$ ). Переменная длительность элемента сигнала соответствует различной скорости передачи информации, что, например, используется для повышения помехоустойчивости при ухудшении помеховой обстановки, что следует из выражения:  $\bar{h}_0^2 = (P_c \cdot T) / v^2$  – отношение энергии сигнала на бит информации к спектральной плотности шума  $v^2$  [19].

Таким образом для обеспечения большей полноты и достоверности в процессе ФК СРС формирователей сигналов недостаточно знать текущее значение ПКФ, а требуется матрица ПКФ.

*Например:* выражение для ПКФ СРС в случае формирования узкополосного сигнала имеет вид:  $g_i^2 = (1 - \eta)^2 \sin^2 [\pi \Delta f T (1 - \eta)]$  [20]. Произведение  $\Delta f T$  представим в виде  $\delta_{\text{ор}} f_c T$ , где  $\delta_{\text{ор}} = \Delta f_{\text{ор}} / f_{\text{ор}}$  представляет собой долговременную относительную нестабильность частоты опорного генератора и является нормированной (значение в течение 1 года указывается в формуляре на радиосредство) величиной. Формулу для ПКФ СРС запишем в виде:

$$g_i^2 = (1 - \eta)^2 \sin^2 [\pi \delta_{\text{ор}} f_c T (1 - \eta)]. \quad (1)$$

Таким образом ПКФ при некогерентной обработке сигналов АТ, ЧТ (ОФТ) зависит от краевых искажений  $\eta$  излучаемых посылок, относительной нестабильности частоты ОГ  $\delta_{ог}$ , а также от произведения текущей частоты сигнала  $f_c$  на длительность его элемента  $T$ . Следовательно, для обеспечения полноты КТС формирователей сигналов (РПДУ), согласно выражению (1), необходимо измерять ПКФ при всех возможных длительностях элементов применяемого сигнала в заданном диапазоне частот. Охватить диапазон частот от 1,5 МГц до 30 МГц возможно, только в случае дискретных измерений значений ПКФ с заранее заданным шагом по частоте, что приведет к формированию матрицы значений коэффициентов подобия сигналов размером  $f_{ci} \times T_i$ . Далее по известному набору имеющихся дискретных значений ПКФ формирователей сигналов (ФС) необходимо осуществить интерполяцию и определить недостающие значения ПКФ между измеренными отсчетами с заданной точностью. Точность интерполяции будет зависеть от шага по частоте между измерениями ПКФ, а поскольку время измерения ПКФ не превышает  $(2 \div 4) T$ , то всегда возможно выполнить необходимое количество измерений для обеспечения требуемой точности интерполяции.

Например:

- 1) класс излучения F1B;
- 2)  $B_v = 1/T_v = 1/50$  (1/75, 1/100, 1/200, 1/400, 1/500) (бод);
- 3) диапазон частот от 2 до 30 (МГц), с шагом  $\Delta f = 0,2$  (МГц).

Определить размер и время, необходимое для формирования матрицы значений ПКФ.

Размер матрицы  $140 \times 6$ , а время необходимое для формирования матрицы значений ПКФ не превысит  $t = (0,02 + 0,0133 + 0,01 + 0,005 + 0,0025 + 0,002) \times 140 \times 4 = 29,6$  (с) (где 4 – количество измерений каждого значения ПКФ).

На рис. 4 представлены графики зависимости ПКФ  $g_{i\text{TF}}^2$  от значений  $f_{cq} \times T_v$ ,  $\eta \leq 2\%$ ,  $f_{ог} = 10^8$  (Гц) при частотных сдвигах ОГ  $\Delta f_{ог}$  в 5 Гц, 10 Гц и 20 Гц.

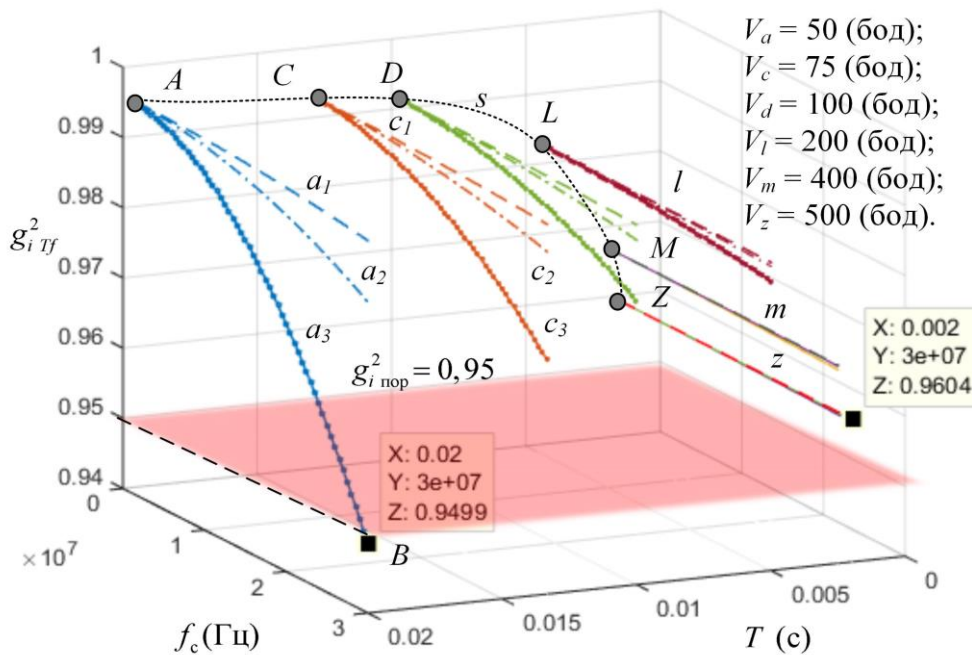


Рис. 4. Графики зависимости ПКФ  $f_{cq} \times T_v$ ,  $\eta \leq 2\%$ ,  $f_{ог} = 10^8$  (Гц) при частотных сдвигах ОГ  $\Delta f_{ог}$  в 5 Гц, 10 Гц и 20 Гц

Из графиков, представленных на рис. 4 следует высокая чувствительность коэффициента подобия сигналов (1) к стабильности параметров радиосредств (ФС) формируемых сигнал. Так в ВУ и РПУ «Тишина» краевые искажения  $\eta$  в радиотракте должны быть не более 2 % (ВУ),  $f_{ор} = 98,4$  (МГц),  $\Delta f_{ор} = \pm 5 \times 10^{-8}$  (Гц) и максимальная длительность элементарной посылки в коротковолновом (КВ) диапазоне частот составляет  $T_{max} = 0,02$  (с) (50 бод). При этом в длинноволновом (ДВ) диапазоне  $T_{max} = 0,25$  (с) (4 бод), что обусловлено меньшим влиянием нестабильности частоты ОГ средств радиосвязи на помехоустойчивость (ПКФ), которая ограничивает применение еще более узкополосных сигналов в РЛ.

При анализе зависимостей  $g_{i\ T_f}^2$ , представленных на рис. 4 от значений произведения  $f_{ci} \times T_i$  возможно получить информацию о степени отклонения параметров радиосигнала от номинальных уровней следующим образом:

- 1) изменения значений  $g_{i\ T_f}^2$  вдоль линий  $a, c, d, l, m, z$  указывает на наличие частотной расстройки опорного генератора РПДУ;
- 2) изменения значений  $g_{i\ T_f}^2$  при движении от точки А к точке Z (вдоль линии  $s$  рис. 5) показывает влияние краевых искажений радиотракта на ПКФ;
- 3) колебания уровней  $g_{i\ T_f}^2$  вдоль линий  $a, c, d, l, m, z$  выявляет наличие амплитудно-фазовых, нелинейных искажений в формируемом сигнале (радиотракте).

### **5. Блок-схема алгоритма восстановления качества функционирования средств радиосвязи автоматизированного радиоцентра**

Высокая точность установки и стабильность частоты ОГ РПУ позволяют осуществить бесперебойное вхождение в связь и работу без подстройки в процессе приема информации. Кроме того, в КВ диапазоне радиоволн применяются сигналы для которых условие  $\Delta f T \ll 1$  не выполняется. Следовательно, своевременная подстройка частоты ОГ радиосредств обязательна, что следует из зависимостей, представленных на рис. 4. Критерием необходимости осуществления технического обслуживания по состоянию (ТОС) является условие  $g_{i\ T_f}^2 \leq k_1 g_{i\ пор}^2$  ( $\Delta \beta_i \geq k_2 \Delta \beta_{i\ пор}$ ), где  $k_1, k_2$  – корректирующие коэффициенты, определяющие предпороговое значение ПКФ для проведения ТОС соответственно РПДУ и РПУ.

На рис. 5 представлена блок-схема восстановления качества функционирования радиосредств.

Представленный на рис. 5 алгоритм является продолжением процесса идентификации ТС функционирующих радиосредств и предназначен для вывода на техническое обслуживание по состоянию СРС до наступления их параметрических отказов, что позволит парировать влияние на ТС радиосредств тех параметров, значения которых предусматривают регулировку.

Рассмотрим порядок работы представленного на рис. 5 алгоритма:

- 1) осуществить ввод исходных данных в виде неравенств:  $g_{i\ T_f}^2 \leq k_1 g_{i\ пор}^2$  ( $\Delta \beta_i \geq k_2 \Delta \beta_{i\ пор}$ ).

Еще до процедуры ТОС возможно оценить причины снижения качества функционирования радиосредства по анализу зависимостей  $g_i^2$  от значений произведения  $f_{ci} \times T_i$ ;

- 2) выполнить ТОС с учетом предварительных знаний о причинах снижения ПКФ радиосредства.

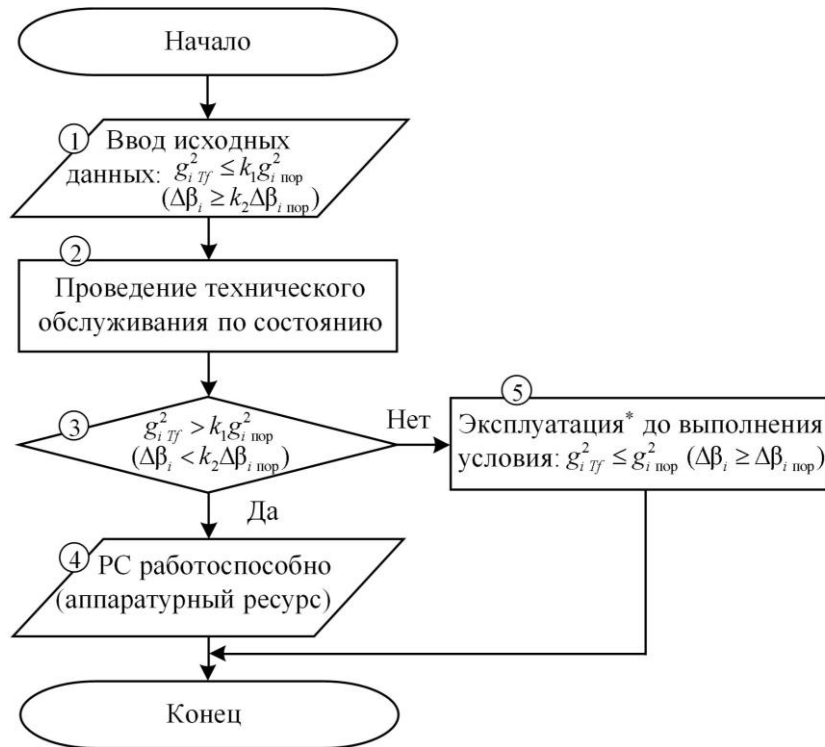


Рис. 5. Блок-схема алгоритма восстановления качества функционирования радиосредств

*Например:* при проведении ТО-2, согласно технической документации на изделие ВУ (РПУ) «Тишина», необходимо осуществить подстройку частоты опорного генератора ВУ (РПУ), а также проверить уровень выходного сигнала ВУ на нескольких частотах (5 фиксированных частот для ВУ «Тишина») или чувствительность РПУ на 50 частотах (РПУ «Тишина»). Если же мы имеем зависимость  $g_i^2$  от значений произведения  $f_{ci} \times T_i$  (в предыдущем примере значения получены за 29,6 (с), то проверять выходной уровень ВУ на нескольких частотах не нужно. Достаточно осуществить подстройку частоты опорного генератора ВУ и произвести синтез матрицы значений коэффициентов подобия сигналов, что приведет к сокращению времени проведения инструментального контроля ВУ АРЦ;

3) проверить соблюдение условия  $g_{i ТФ}^2 > k_1 g_{i пор}^2$  ( $\Delta\beta_i < k_2 \Delta\beta_{i пор}$ ). Если условие выполняется, то осуществляем переход к шагу 4, если нет, то к шагу 5;

4) признать радиосредство работоспособным и присвоить обслуженному СРС зеленую маркировку;

5) осуществлять эксплуатацию\* СРС АРЦ до выполнения условия  $g_{i ТФ}^2 \leq g_{i пор}^2$  ( $\Delta\beta_i \geq \Delta\beta_{i пор}$ ), при этом у радиосредств сохраняется ранее присвоенная желтая маркировка.

Цветовая маркировка (зеленая, желтая, красная) позволяет разделять аппаратурный ресурс АРЦ по своему ТС и заранее планировать проведение мероприятий по восстановлению ресурса СРС, а так же не использовать радиосредства с желтой маркировкой в качестве контрольных на ПРЦ.

## 6. Оценка выигрыша во времени обслуживания радиосредств автоматизированного радиопункта

Для оценки выигрыша во времени обслуживания СРС АРЦ от применения заявленного способа ФК необходимо рассмотреть мероприятия, проводимые при проведении годового технического обслуживания (ТО-2) на радиосредствах. Необходимо

отметить, что измерения параметров радиосредств являются наиболее сложными и ответственными мероприятиями в процессе выполнения ТО-2, поскольку требуют опыта и квалификации от инженерно-технического состава АРЦ, а также отключения СРС с действующих связей на время проведения измерений и регулировок контролируемых параметров радиосредств. Поэтому именно время проведения измерений и регулировок параметров СРС будем понимать под временем  $t_{\text{то}}$  выполнения ТО-2. Кроме того, мероприятия по заполнению эксплуатационной документации являются следствием процесса измерений контролируемых параметров, остальные мероприятия можно отнести к ежемесячному техническому обслуживанию (ТО-1) в составе ТО-2 в отличие от времени измерений контролируемых параметров радиосредств.

Исходные данные для относительной оценки выигрыша  $\delta_{\Delta}$  во времени обслуживания радиосредств АРЦ от применения заявленного способа ФК СРС имеют вид:

1)  $N_{\text{пдрц}}$ ,  $N_{\text{прц}}$  – соответственно общее количество радиосредств обслуживаемых во время проведения годового ТО-2 на ПДРЦ и ПРЦ и затрачиваемом времени  $N_{\text{пдрц}} \times t_{\text{то}}$ ,  $N_{\text{прц}} \times t_{\text{то}}^*$ , где  $t_{\text{то}}$ ,  $t_{\text{то}}^*$  – время требующееся для проведения обслуживания одной единицы СРС (ВУ, РПУ) при плано-предупредительной стратегии ТО;

2)  $N_{\text{пдрц}}^*$ ,  $N_{\text{прц}}^*$  – соответственно среднее количество радиосредств требующих обслуживания по своему техническому состоянию на ПДРЦ и ПРЦ и затрачиваемом времени  $N_{\text{пдрц}}^* \times t_{\text{тос}}$ ,  $N_{\text{прц}}^* \times t_{\text{тос}}^*$ , где  $t_{\text{тос}}$ ,  $t_{\text{тос}}^*$  – время требующееся для проведения обслуживания одной единицы СРС (ВУ, РПУ) при стратегии ТОС.

Выражение для относительной оценки выигрыша  $\delta_{\Delta \text{ пдрц}}$  во времени обслуживания радиосредств ПДРЦ примет вид:

$$\delta_{\Delta \text{ пдрц}} = \frac{N_{\text{пдрц}} \times t_{\text{то}} - N_{\text{пдрц}}^* \times t_{\text{тос}}}{N_{\text{пдрц}} \times t_{\text{то}}} = 1 - \bar{\rho} \frac{t_{\text{тос}}}{t_{\text{то}}}, \quad (2)$$

где  $\bar{\rho}$  – средняя доля радиосредств от общего количества СРС на АРЦ, требующих обслуживания по своему техническому состоянию. Значение  $\bar{\rho}$  характеризует параметрическую надежность [21] применяемых на АРЦ СРС и в случае плано-предупредительной стратегии ТО  $\bar{\rho} = 1$ , при стратегии ТОС будем считать  $\bar{\rho} \leq 1$ .

На ПРЦ согласно заявленному способу ФК используется дублирование приемных устройств, при котором контролируемые РПУ являются средствами измерений, параметры которых должны быть поверены один раз в год. В этом случае  $\bar{\rho} = N_{\text{прц}}^* / N_{\text{прц}} = 1/2$  при любой комбинации требующих обслуживания функционирующих РПУ  $N_{\text{ф прц}}^*$  и средств измерений (контролирующие РПУ)  $N_{\text{си}}^*$ , тогда  $N_{\text{прц}}^* = N_{\text{ф прц}}^* + N_{\text{си}}^*$  и  $N_{\text{прц}} = 2N_{\text{прц}}^*$ . Для РПУ  $t_{\text{тос}}^* = t_{\text{то}}^*$ , поскольку они после проведения ТОС становятся контролирующими, тогда согласно выражению (2) выигрыш во времени обслуживания приемных средств  $\delta_{\Delta \text{ прц}} = 1/2$  ( $\bar{\rho} = 1/2$ ,  $t_{\text{тос}}^* / t_{\text{то}}^* = 1$ ).

На рис. 6 представлен график зависимости относительной оценки выигрыша  $\delta_{\Delta \text{ пдрц}}$  во времени обслуживания радиосредств ПДРЦ при переходе от плано-предупредительной стратегии технического обслуживания к стратегии технического обслуживания по состоянию.

Рассмотрим отношение  $t_{\text{тос}} / t_{\text{то}}$  ( $t_{\text{тос}}^* / t_{\text{то}}^* = 1$ ), которое будет меньше единицы только при учете дополнительной информации о знании причин (параметров) снижающих качество

выполняемых СРС функций, что способствует сокращению перечня мероприятий при проведении ТОС.

Согласно технической документации проверка электрических параметров ВУ Р-170В включает:

- 1) проверку диапазона частот – 1/6 (чел/час);
- 2) проверка уровней напряжения на выходе изделия – 1/6 (чел/час);
- 3) проверка относительного отклонения частоты ОГ – 1/6 (чел/час).

Проверка электрических параметров ВУ «Тишина» включает только 2 и 3 пункты.

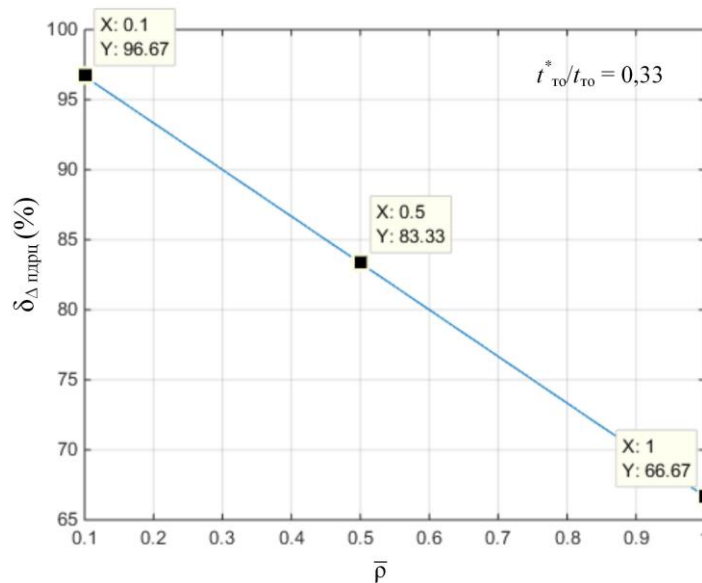


Рис. 6. График зависимости относительной оценки выигрыша  $\delta_{\Delta_{пдрц}}$  во времени обслуживания радиосредств ПДРЦ

Следовательно, для ВУ Р-170В  $t_{тоc} / t_{то} = 1/3$ , а для ВУ «Тишина»  $t_{тоc} / t_{то} = 1/2$ . Кроме того, полнота контроля при измерении матрицы ПКФ будет выше, чем при инструментальном контроле по пяти частотам, по причине значительно большей выборки контролируемых частот (840 значений за 29,6 с.).

Например: при  $N_{пдрц} = 20$  (ед.) (Р-170В),  $N_{прц} = 40$  (ед.) (Р-170П),  $t_{то} = 0,5$  (чел/час),  $t_{то}^* = 0,7$  (чел/час),  $t_{тоc} / t_{то} = 1/3$ ,  $\bar{\rho} = 1/2$ , тогда согласно выражению (2)  $\delta_{\Delta_{пдрц}} = 1 - \bar{\rho} (t_{тоc} / t_{то}) = 1 - (1/2) \times (1/3) \approx 0,83$ ;  $\delta_{\Delta_{прц}} = 1/2$ .

Сокращение времени  $\Delta t_{то}$  на проведение измерений параметров СРС АРЦ составит:

$$\Delta t_{то} = N_{пдрц} t_{то} \delta_{\Delta_{пдрц}} + N_{прц} t_{то}^* \delta_{\Delta_{прц}} = 20 \times 0,5 \times 0,83 + 40 \times 0,7 \times 0,5 = 22,3 \text{ (чел/час)}.$$

## 7. Применение интеллектуального анализа к данным функционального контроля средств радиосвязи

Реализация методики функционального контроля СРС АРЦ позволит формировать временные ряды [22] значений матриц ПКФ радиосредств благодаря которым возможно осуществление индивидуального прогноза [23] их ТС. Необходимо эффективное извлечение информации из временных рядов ПКФ о наличии тенденций (эволюции) ТС СРС с учетом накопленного опыта.

Данная методика позволяет ответить на вопрос что и как контролировать [24], а также произвести оценку результатов контроля и идентифицировать ТС радиосредств, но для

оператора АРЦ важно выявить тенденцию (дрейф) в значениях контролируемых параметров одновременно многих СРС АРЦ, с целью планирования проведения ТОС и ремонта, а также цветовой маркировки радиосредств в зависимости от ТС, что невозможно осуществлять без интеллектуального анализа данных контроля (*Data Mining*) [25, 26].

Элементы интеллектуального анализа данных ТС СРС (матрицы ПКФ) должны включать в себя следующие шаги:

1) сравнение каждого значения  $g_i^2$  из матрицы ПКФ СРС с порогом  $g_{i\text{пор}}^2$  (предпороговым значением  $g_{i\text{д}}^2$ ) для выявления факта отказа (проведение мероприятий технического обслуживания по состоянию и ремонта (ТОС и Р));

2) нахождение среднеквадратической разности  $D_N$  (где  $N$  – номер процедуры функционального контроля) для каждой пары значений  $g_i^2$  текущей и эталонной матрицы ПКФ согласно выражению:

$$D_N = \sqrt{\sum_{j=1}^m ((g_{i\text{эТф}}^2)_j - (g_{i\text{иТф}}^2)_j)^2}, \quad (3)$$

где  $m$  – количество значений ПКФ в матрице ( $f_{ci} \times T_i$ ),  $g_{i\text{эТф}}^2, g_{i\text{иТф}}^2$  – соответственно эталонная и искаженная матрицы ПКФ радиосредств. Временной ряд значений среднеквадратических разностей матриц ПКФ  $D(N)$  запишем в виде:  $D(N) = \sum_{N=1}^N D_N$ ;

3) вычисление коэффициента корреляции  $C_N$  между текущей и исходной (эталонной) матрицами по формуле Пирсона:

$$C_N = \frac{\sum_{j=1}^m ((g_{i\text{эТф}}^2)_j - \overline{(g_{i\text{эТф}}^2)}) \times ((g_{i\text{иТф}}^2)_j - \overline{(g_{i\text{иТф}}^2)})}{\sqrt{\sum_{j=1}^m ((g_{i\text{эТф}}^2)_j - \overline{(g_{i\text{эТф}}^2)})^2} \times \sqrt{\sum_{j=1}^m ((g_{i\text{иТф}}^2)_j - \overline{(g_{i\text{иТф}}^2)})^2}}. \quad (4)$$

Временной ряд значений коэффициентов корреляции матриц ПКФ  $C(N)$  представим в виде:  $C(N) = \sum_{N=1}^N C_N$ ;

4) определение расстояния  $d_N$  (запаса) текущих значений ПКФ СРС относительно пороговых уровней по формуле:

$$d_N = \frac{((g_{i\text{иТф}}^2)_j - g_{i\text{пор}}^2)}{1 - g_{i\text{пор}}^2}. \quad (5)$$

Временной ряд расстояний  $d(N)$  текущих значений ПКФ СРС относительно пороговых уровней будет иметь вид:  $d(N) = \sum_{N=1}^N d_N$ .

Второй и третий шаги интеллектуального анализа предназначены для выявления тенденций в накопленных данных в целом, которые сложно выявить при медленных дрейфах контролируемых параметров на многих одновременно функционирующих СРС. Четвертый шаг конкретизирует данные предыдущих шагов в части касающейся причин, влияющих на снижение уровня эксплуатационного запаса и позволяет осуществлять планирование мероприятий ТОС и Р, т. е. осуществлять индивидуальное прогнозирование ТС радиосредств известными способами ( $K$ -средних, экспоненциальное сглаживание [27, 28] и т. д.).

На рис. 7 представлены графики зависимости среднеквадратической разности  $D(N)$  и корреляции  $C(N)$  для каждой пары значений  $g_i^2$  текущей и эталонной матрицы ПКФ а) и расстояний  $d(N)$  б), причем каждому значению  $N$  соответствует частотный сдвиг в 2 Гц.

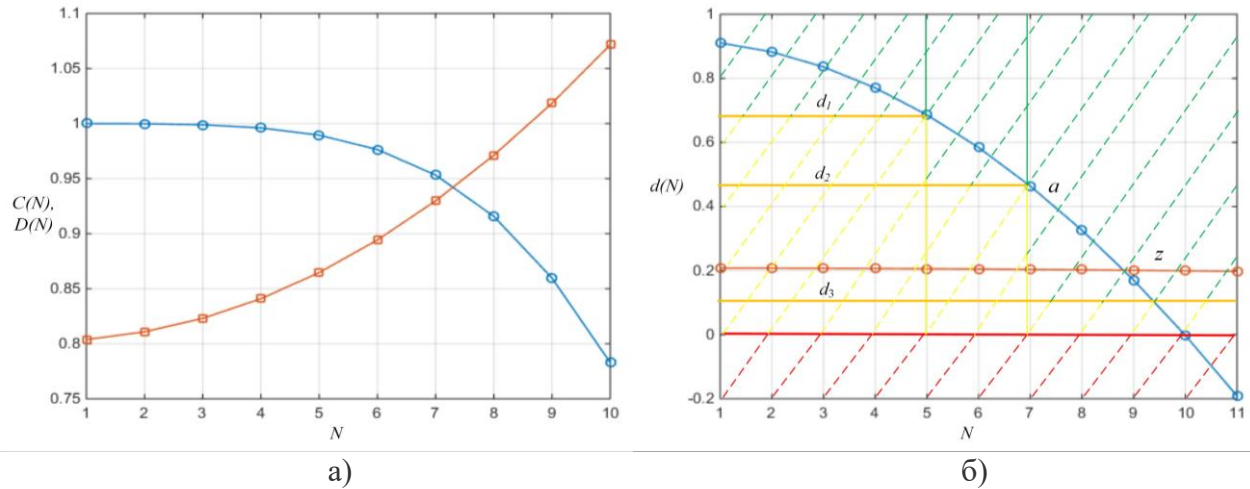


Рис. 7. Графики зависимости среднеквадратической разности  $D(N)$  и корреляции  $C(N)$  матриц ПКФ а) и расстояний  $d(N)$  б)

На рис. 7 а) виден рост среднеквадратической разности  $D(N)$  (график красного цвета) и снижение корреляции  $C(N)$  между матрицами ПКФ, сделанными в разное время  $t=kN$ , где  $k$  – масштабный коэффициент, причем среднеквадратическая разность  $D(N)$  для выявления тенденций дрейфа более информативна, чем корреляция  $C(N)$ . На рис. 7 б) графики  $a$  и  $z$  построены при  $V_a = 50$  (бод),  $V_z = 500$  (бод), для которых характерно независимое влияние частотного сдвига и краевых искажений соответственно. Значения уровней  $d_1, d_2$  зависят от видов применяемых сигналов и определяют необходимость проведения ТОС СРС (область желтого цвета), так как в результате обслуживания (регулировки) возможно парировать искривление графика  $a$ , при этом уровень  $d_3$  относится к графику  $z$  и является критерием цветового разделения радиосредств, поскольку во время обслуживания скорректировать влияние искажений формы (краевых, нелинейных, фазовых искажений), как и изменения уровня сигнала (например, с выхода возбуждательного устройства) не представляется возможным. В этом случае критерием управления аппаратным ресурсом АРЦ будет достижения запаса  $d$  нулевого значения (отказ, область красного цвета), что в свою очередь позволяет планировать мероприятия по восстановлению ресурса (ремонту) радиосредств.

### Заключение

Таким образом, в статье сформулированы основные принципы организации и проведения функционального контроля СРС на АРЦ, выработаны предложения по реализации способа ФК СРС как на передающем, так и на приемном радиоцентрах, представлены средства контроля в виде структурной схемы  $i$ -канального ИКПС на ПДРЦ и контролирующих РПУ на ПРЦ.

В результате на АРЦ дополнительно формируется третий уровень автоматизированного функционально-параметрического контроля, задачей которого является своевременная идентификация ТС СРС, что способствует переходу от планово-предупредительной стратегии к стратегии технического обслуживания по состоянию.

К научной новизне предложенного способа и устройства функционального контроля СРС АРЦ можно отнести:

– формирование на ПДРЦ матрицы значений ПКФ радиосредств, что позволяет определять вид ТС РПДУ с большей полнотой и достоверностью благодаря измерению



значений параметров контролируемого сигнала, не на одной фиксированной частоте, а на сетке частот и длительностей информационных посылок, что позволяет сформировать массив значений ПКФ РПДУ согласно частотно-временной матрице и, за счет этого, обеспечить большую полноту КТС радиосредств и повысить его достоверность.

– идентификацию ТС РПУ, благодаря вычислению разности коэффициентов ошибок основного и контролирующего (резервного) РПУ, с предварительной оценкой сигнальной и помеховой обстановки в канале связи. При этом в процессе определения ТС РПУ осуществляется учет значений ПКФ формирующих сигнал радиосредств, т. е. учитывается ТС «окружения»;

– обоснование режима работы СК на АРЦ с учетом времени неправильного функционирования радиосредств с одной стороны и надежности СК с другой.

Практическая значимость представленных в статье научно-технических предложений заключается в том, что разработаны: способ функционального контроля СРС АРЦ для идентификации ТС радиосредств как на ПДРЦ, так и на ПРЦ в процессе применения РЛ по назначению, структурная схема устройства в виде  $i$  – канального ИКПС $_i$  с совмещенной с контрольными РПУ или отдельной малогабаритной измерительной антенной, а также схемная реализация ВЧ-коммутатора и контролирующих РПУ.

При этом применение научно-технических предложений по реализации методики функционального контроля СРС АРЦ в ходе разработки систем КТС и при КТС радиосредств в процессе эксплуатации, позволяет:

– идентифицировать ТС СРС на момент функционального контроля;

– интеллектуализировать анализ накопленных данных результатов контроля ТС СРС в виде временных рядов, что, в свою очередь, способствует своевременному принятию решения, планированию мероприятий по обслуживанию и ремонту СРС, а также исключить мероприятия по ТО для тех СРС, которые по своему техническому состоянию в нем не нуждаются;

– ввести цветовую маркировку СРС на АРЦ;

– осуществить переход от планово-предупредительной стратегии ТО СРС на АРЦ к стратегии ТОС.

Заявленный способ функционального контроля средств радиосвязи автоматизированного радиоцентра может быть использован:

– в процессе функционирования радиолиний, использующих различные диапазоны волн и виды сигналов;

– при проведении годового ТО-2 (инструментального контроля);

– при разработке и испытаниях новых образцов СРС;

– при выполнении научно-исследовательских работ в области совершенствовании СРС и повышения их эффективности функционирования;

– при проведении обучения специалистов радиосвязи.

### Литература

1. Голунов М. В. Своевременность контроля технического состояния средств радиосвязи // Техника средств связи. 2021. № 4 (156). С. 61-68.
2. Половко А. М., Гуров С. В. Основы теории надежности. СПб.: БХВ–Петербург, 2006. 704 с.
3. Голунов М. В. Методика функционального контроля средств радиосвязи автоматизированного радиоцентра // Техника средств связи. 2022. № 3 (159). С. 30-52.
4. Клюев В. В., Соснин Ф. Р., Ковалев А. В. Неразрушающий контроль и диагностика: справочник / Под общ. ред. В. В. Клюева. М.: Машиностроение, 2005. 656 с.
5. Будко П. А., Федоренко В. В. Управление в сетях связи. Математические модели и методы оптимизации: Монография. – М.: Издательство физико-математической литературы, 2003. – 539 с.
6. Давыдов П. С. Техническая диагностика радиоэлектронных устройств и систем. Москва: Радио и связь, 1988. 256 с.
7. Техническая совместимость ГОСТ 30709–2002. Техническая совместимость. Термины и определения. М.: Издательство стандартов, 2002. 5 с.

8. Будко Н. П., Винограденко А. М., Меженев А. В. К вопросу обоснования понятийного аппарата неразрушающего экспресс-контроля технического состояния оборудования системы связи и радиотехнического обеспечения аэродрома // *Научные технологии в космических исследованиях Земли*. 2019. Т. 11. № 6. С. 30-44. doi: 10.24411/2409-5419-2018-10293.
9. Бакланов И. Г. *Оправдание OSS*. – М.: Издательские решения, 2016. – 131 с.
10. 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*. 2013. Т. 11. № 3. С. 24-27.
11. Аллакин В. В., Голунов М. В. Анализ научно-методического аппарата удаленного мониторинга технического состояния информационно-телекоммуникационных сетей и систем // *Техника средств связи*. 2020. № 4 (152). С. 17-36.
12. Голунов М. В. Аналитическая модель контроля технического состояния радиосредств радиолонии в процессе функционирования с предварительной оценкой сигнальной и помеховой обстановки в канале связи // *Техника средств связи*. 2022. № 1 (157). С. 69-95.
13. Головин О. В., Простов С. П. Системы и устройства коротковолновой радиосвязи / Под ред. Проф. О. В. Головина. – М.: Горячая линия – Телеком, 2006. – 598 с.
14. Сикарев А. А., Соболев В. В. *Функционально устойчивые демодуляторы сложных сигналов*. – М.: Радио и связь, 1988. – 224 с.
15. Курнос В. И., Сикарев И. А. Функционально устойчивые автоматизированные идентификационные телекоммуникационные системы на речном транспорте. / В. И. Курнос, И. А. Сикарев. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2009. – 224 с.
16. Федоренко В. В. Математическая модель системы передачи сигналов для решения задач контроля // *Электронное моделирование*. 1991. № 6. С. 85-88.
17. Улахович Д. А. *Цифровая обработка сигналов. Краткий курс*. – СПб.: ВАС, 2017. – 408 с.
18. Филимонов В. А., Остроумов О. А. *Теория электрической связи: Учеб. пособие: В 2 ч. Ч. 1*. СПб.: ВАС, 2015. 200 с.
19. Николашин Ю. Л., Будко П. А., Жуков Г. А. Эффективность использования когнитивной радиосвязи в декаметровом диапазоне частот // *Техника средств связи*. 2018. № 2 (142). С. 6-21.
20. Федоренко В. В. Способ контроля средств радиосвязи по показателю качества // *Механизация и автоматизация управления*. 1991. № 2. С. 19-22.
21. Сугак Е. В. *Прикладная теория надежности: учебник для вузов*. – СПб.: Лань, 2022. – Часть 2. Надежность технических систем. – 240 с.
22. Игнатов Н. А. Прогнозирование временных рядов с регулярными циклическими компонентами с помощью модели периодически коррелированных случайных процессов // *Научные труды: Институт народнохозяйственного прогнозирования РАН*, 2011. С. 461-477.
23. Подмастерьев К. В., Моисеев С. А. Прогнозирующий контроль радиоэлектронной аппаратуры с адаптивными интервалами времени. Часть 1. Теоретические основы и модели, характеристики дрейфа параметров // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*, 2012. № 3-2 (293). С. 135-144.
24. Разумный В. М. *Оценка параметров автоматического контроля*. – М.: Энергия, 1975. – 80 с.
25. Чубукова И. А. *Data Mining: учебное пособие*. – М.: Интернет-университет информационных технологий: БИНОМ: Лаборатория знаний, 2006. – 382 с.
26. Мусаев А. А. *Интеллектуальный анализ данных: учебное пособие*. – СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2018. – 56 с.
27. Батулин А. Прогноз по методу экспоненциального сглаживания с трендом и сезонностью Хольта-Винтерса [Электронный ресурс] – URL: <https://4analytics.ru/prognostirovanie> (дата обращения 03.07.2021 г.).
28. Кашкин В. Б., Рублева Т. В. Применение сингулярного спектрального анализа для выделения слабо выраженных трендов // *Известия Томского политехнического университета*. 2007. Т. 311. № 5. С. 116-119.

### References

1. Golyunov M.V. Timeliness of Control of Technical Condition of Radio Communication Facilities // *Technics of Communication Facilities*. 2021. № 4 (156). P. 61-68. (in Russian).

2. Polovko A. M., Gurov S. V. Fundamentals of reliability theory. SPb: BHV-Peterburg, 2006. 704 p. (in Russian).
3. Golyunov M. V. Methodology of functional control of radio communication means of an automated radio center // Technics of means of communication. 2022. № 3 (159). P. 30-52. (in Russian).
4. Klyuev V. V., Sosnin F. R., Kovalev A. V. Nondestructive Testing and Diagnostics: Handbook / Under general ed. V. Klyuev. Moscow: Mashinostroenie, 2005. 656 p. (in Russian).
5. Budko P. A., Fedorenko V. V. Management in communication networks. Mathematical models Mathematical models and methods of optimization: Monograph. - Moscow: The publishing house of physical and mathematical literature, 2003. – 539 p. (in Russian).
6. Davydov P.S. Technical diagnostics of radioelectronic devices and systems. Moscow: Radio and communications, 1988. 256 p. (in Russian).
7. Technical Compatibility GOST 30709-2002. Technical compatibility. Terms and definitions. Moscow: Publishing house of standards, 2002. 5 p. (in Russian).
8. Budko N. P., Vinogradenko A.M., Mezhenov A.V. To the justification of the conceptual apparatus of non-destructive express control of the technical condition of communications and airfield radio equipment // Science-intensive technologies in Earth space research. 2019. T. 11. № 6. P. 30-44. doi: 10.24411/2409-5419-2018-10293. (in Russian).
9. Baklanov I. G. Justification of OSS. - M.: Publishing Solutions, 2016. – 131 p. (in Russian).
10. Zholdasov E. S., Zhukov G. A., Fatukhin I. N., Budko N. P. Hardware-software complex for technical control of decimeter radio lines // Science-intensive Technologies in Space Exploration of the Earth. 2013. T. 11. № 3. P. 24-27. (in Russian).
11. Allakin V. V., Goliunov M. V. Analysis of scientific-methodical apparatus of remote monitoring of technical state of information-telecommunication networks and systems // Technics of means of communication. 2020. № 4 (152). P. 17-36. (in Russian).
12. Golyunov M. V. Analytical model for monitoring the technical condition of radio facilities in the process of operation with a preliminary assessment of the signal and interference conditions in the communication channel // Technics of communication facilities. 2022. № 1 (157). P. 69-95. (in Russian).
13. Golovin O. V., Prostov S. Systems and Devices of Short-Wave Radio Communications / Ed. by Prof. O. Golovin. O. V. Golovin.- M.: Hot Line - Telecom, 2006. – 598 p. (in Russian).
14. Sikarev A.A., Sobolev V. V. Functionally steady demodulators of complex signals. - Moscow: Radio and Communications, 1988. – 224 p. (in Russian).
15. Kurnosov V. I., Sikarev I. A. Functionally stable automated identification telecommunication systems on the river transport / V.I. Kurnosov, I.A. Sikarev. SPb. Polytechnic University Publ., 2009. 224 p. (in Russian).
16. Fedorenko V. V. Mathematical model of signal transmission system for the solution of control tasks // Electronic modeling. 1991. № 6. P. 85-88. (in Russian).
17. Ulakhovich D. A. Digital signal processing. A short course.-St. Petersburg: BAC, 2017. – 408 p. (in Russian).
18. Filimonov V.A., Ostroumov O.A. Theory of electrical communication: textbook: in 2 parts. Ч. 1. SPb.: VAS, 2015. 200 p. (in Russian).
19. Nikolashin Y. L., Budko P. A., Zhukov G. A. Efficiency of cognitive radio communication in the decimeter frequency range // Technics of communication. 2018. № 2 (142). P. 6-21. (in Russian).
20. Fedorenko V. V. Method of the radio communication means control by the quality parameter (in Russian) // Mechanization and automation of control. // Mechanization and automation of control. 1991. № 2. P. 19-22. (in Russian).
21. Sugak E. V. Applied theory of reliability: a textbook for universities. – SPb: Lan', 2022. – Part 2. Reliability of technical systems. – 240 p. (in Russian).
22. Ignatov H. A. Forecasting of Time Series with Regular Cyclic Components using the Model of Periodically Correlated Random Processes // Scientific Proceedings: Institute of National Economy Forecasting of RAS, 2011. P. 461-477. (in Russian).
23. Podmasterev, K.V.; Moiseev, S.A. Predictive control of the radio electronic equipment with the adaptive time intervals. Part 1. Theoretical Bases and Models, Parameter Drift Characteristics // Fundamental and Applied Problems of Engineering and Technology, 2012. № 3-2 (293). P. 135-144. (in Rus). (in Russian).
24. Razumny V.M. Estimation of the parameters of automatic control. - Moscow: Energia, 1975. - 80 p. (in Rus). (in Russian).
25. Chubukova I. A. Data Mining: tutorial. - Moscow: Internet University of Information Technologies: BINOM: Laboratory of Knowledge, 2006. - 382 p. (in Russian).

26. Musaev A.A. Intelligent data analysis: tutorial. - SPb: SPbGTI(TU), 2018. - 56 p. (in Russian).  
 27. Baturin A. Forecast by the method of exponential smoothing with Holt-Winters trend and seasonality [Electronic resource] - URL: <https://4analytics.ru/prognozirovaniye> (accessed 03.07.2021). (in Russian).  
 28. Kashkin V. B., Rubleva T.V. Application of singular spectral analysis for detection of weak trends // Proceedings of the Tomsk Polytechnic University. 2007. T. 311. № 5. P. 116-119. (in Russian).

Статья поступила 01 ноября 2022 г.

### Информация об авторах

Голюнов Михаил Валерьевич – адъюнкт кафедры Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного. Область научных интересов: методы контроля и мониторинга состояния телекоммуникационных систем. Тел. +7 (812) 247–98–42, E-mail: belka1213@mail.ru. Адрес: г. Санкт-Петербург, Тихорецкий проспект, д. 3.

### Proposals for the implementation of a method of functional control of radio communication facilities of an automated radio center

M. V. Golyunov

**Annotation. Problem statement:** an important condition for successful functioning of a radio communication network is the need to allocate them sufficient frequency, hardware and other types of resources. Thus efficiency of functioning of group of the radio lines served on the automated radio centers, depends not only on what resource this or that radio center has, but also in a considerable measure on how these resources are used. In this case, one of the ways to increase the efficiency of radio communication network is resource management in the radio line and at the radio center as a whole. In this regard, very relevant is the development of methods and tools to improve the performance and control of radio communication networks, which include the creation of systems of functional control of radio communication facilities of automated radio centers. **The aim of the work** is to develop proposals for the implementation of methods and devices for functional control of radio communication facilities on both the transmitting and receiving radio centers. **Novelty:** in the formation on the transmitting radio center matrix of values of quality indicators of radio facilities functioning, which allows to determine in time the type of technical condition of radio transmitting devices with greater completeness and reliability by measuring the values of parameters of the controlled signal, not at one fixed frequency, but at a grid of frequencies and duration of information parcels, which allows to form the array of quality indicators of radio transmitting devices functioning according to the frequency-time matrix. **The practical significance** lies in the fact that the application of scientific and technical proposals for the implementation of the method of functional control of radio communication facilities allows: to identify the technical condition of radio facilities at the time of functional control; to intellectualize the analysis of accumulated data of the results of monitoring the technical condition of radio communication facilities in the form of time series, which, in turn, contributes to timely decision-making, planning of maintenance activities and repair, as well as to exclude maintenance measures for those radio equipment that, according to their technical condition, do not need it.

**Keywords:** functional control, technical condition, intelligent data analysis, radio communications, reliability, color marking.

### Information on Authors

Golyunov Mikhail Valeryevich – adjunct of the Department of the Military Academy of Communications named after Marshal of the Soviet Union S. M. Budyonny. Research interests: methods of control and monitoring of the state of telecommunication systems. Tel. +7 (812) 247 – 98 – 42, E-mail: belka1213@mail.ru. Address: 194064, Russia, St. Petersburg, Tikhoretskiy prospect, 3.

**Для цитирования:** Голюнов М. В. Предложения по реализации способа функционального контроля средств радиосвязи автоматизированного радиоцентра // Техника средств связи. 2022. № 4 (160). С. 66-83. DOI: 10.24412/2782-2141-2022-4-66-83.

**For citation:** Golyunov M. V. Proposals for the implementation of a method of functional control of radio communication facilities of an automated radio center. Means of Communication Equipment. 2022. No. 4 (160). Pp. 66-83. DOI: 10.24412/2782-2141-2022-4-66-83. (in Russian).

**ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ**

УДК 621.61; 623.61

DOI: 10.24412/2782-2141-2022-4-84-93

**История и перспективы развития встраиваемой программируемой микропроцессорной техники в составе комплексов средств автоматизации**

Калякин А. Г.

**Аннотация. Постановка задачи:** в статье проведён обзор программируемых адаптеров обработки сообщений, применяемых, для приёма сигналов в форматах радиолиний в интересах комплексов средств автоматизации. Приведены схемы, внешний вид, описания конструкций адаптеров. Проанализированы причины применённых подходов и технических решений при проектировании адаптеров, внесены предложения по дальнейшему развитию разработанных ранее изделий. **Цель работы:** описание существующей технологии программируемых адаптеров обработки сообщений, обоснование эффективности выбранного ранее подхода, формирование предложений для дальнейших разработок по данной теме. **Новизна:** в статье впервые рассматривается технология программируемых адаптеров обработки радиолиний и раскрываются причины выбранных ранее решений и подходов для их проектирования. Для исследования были использованы следующие **методы:** сбор информации о разработанных программируемых адаптерах, систематизация и описание конструкции адаптеров, анализ информации в части сравнения адаптеров различных модификаций, описание их общих черт и внесённых в ходе модернизации в конструкцию различий, синтез предложений для дальнейшей реализации в рамках данной тематики. **Результат:** формирование фундамента в виде структурированного описания имеющихся технических наработок для дальнейшей разработки технических средств обработки сообщений в формате радиолиний в интересах комплексов средств автоматизации, а также направления этих разработок. Проведённое исследование обладает **практической значимостью:** описанные подходы и технические решения и предложения для дальнейших разработок пригодны для использования в последующих работах по модернизации программируемых адаптеров обработки сообщений.

**Ключевые слова:** программируемый адаптер обработки сообщений, микропроцессорная система, шина обмена данными, субблок, радиолиния.

**Введение**

В 2003 году Вооружёнными Силами Российской Федерации (ВС РФ) была в качестве подсистемы управления принята на вооружение первая в стране автоматизированная система обмена данными (СОД) ВМФ береговых пунктов управления (БПУ) с надводными кораблями (НК) и подводными лодками (ПЛ). СОД ВМФ была разработана на базе разработанных ранее системообразующих береговых и бортовых аппаратно-программных комплексов средств автоматизации (КСА). В настоящее время система развивается и модернизируется [1]. На береговых объектах связи в рамках данной системы установлены КСА управления информационным обменом предназначенные для приёма информации по радиолиниям связи ВМФ. Конструктивно КСА представляет собой некоторое (зависящее от модификации) количество вычислительных стоек, к которым подключены средства ввода и вывода информации оператору, модемное оборудование и каналы связи. В вычислительных стойках, вне зависимости от модификации и применяемых интерфейсов связи, размещены центральное вычислительное устройство с центральным процессором (ЦП) и встраиваемые субблоки. Отдельное место среди последних занимают программируемые адаптеры обработки сообщений (ПАОС), реализующие одну из основных функций всего изделия – обработка информации, принятой и демодулированной радиоприёмными устройствами (РПУ), и вывод её в ЦП в пригодном для дальнейшей передачи виде. Надёжные, удобные в

обращении, универсальные, ПАОС в дальнейшем послужили образцом для разработки в рамках последующих ОКР встраиваемых адаптеров различного назначения.

### **1. Общие подходы к построению и принципы функционирования разработанных программируемых адаптеров**

В рамках модернизации и развития СОД в течение последних 20 лет были разработан ряд ПАОС с различными массогабаритными показателями, конструктивами, элементной базой и интерфейсами взаимодействия. При этом назначение и общая структура адаптеров не претерпели существенных изменений. Любой ПАОС, прошедший типовые испытания, построен в виде платы печатного монтажа с микропроцессорной системой (МПС), интерфейсом связи с ЦП и узлом приёма/передачи информации (внешним портом). Выходной сигнал демодулятора РПУ непрерывно принимается внешним портом и передаётся в МПС.

В микропроцессорной системе реализуются алгоритмы обработки каналов радиолиний. Последние могут обрабатываться как по отдельности, так и в совокупности с реализацией весового сложения пространственно-разнесённых сигналов. В этом случае значительно повышается помехоустойчивость: снижаются вероятность ложного приёма и вероятность отказа от приёма знака. Повышение помехоустойчивости при разнесённом приеме объясняется тем, что на РПУ поступает несколько «образцов» одного и того же сигнала, смешанных с различными реализациями помехи. Чем больше ветвей разнесения, тем больше возможность для статистического различия переданных сигналов путем анализа принятых. Эффективность разнесённого приема будет наибольшей, если помехи в ветвях разнесения (как аддитивные, так и мультипликативные) будут независимы. Независимость помех в отдельных ветвях обеспечивается путем выбора соответствующей величины разноса между ветвями в пространстве [2].

Принятый сигнал, очищенный от признаков структуры радиолинии, передаётся в текстовом виде через интерфейс связи в ЦП.

Слово «программируемый» в наименовании ПАОС раскрывает важную особенность функционирования адаптеров данного типа. Число обрабатываемых радиолиний даже в рамках одного комплекса может быть значительным, могут отличаться параметры системы обработки сигнала, к примеру, количество радиоканалов, участвующих в сложении. Также в одном изделии могут быть установлены адаптеры с различными функциями: присутствуют адаптеры приёма сигнала, адаптеры передачи сигнала по симплексным телефонным каналам и адаптеры обмена с другими КСА по автоматизированному каналу доведения сообщений. Такие условия могут потребовать от разработчиков либо проектировать адаптер, совмещающий в себе все эти функции и неизбежно несущий на себе множество незадействованных микросхем и узлов, либо разрабатывать под каждую задачу отдельный адаптер, что ведёт к значительному росту затрат средств и времени при разработке. Оба подхода в чистом виде не устраивали конструкторов изделия, из-за чего и возникла идея создания адаптера универсальной конструкции, функционал которого окончательно определялся на уровне встраиваемого программного обеспечения. Однако здесь также можно было поступить различными способами. Первый способ заключается в «жёстком» программировании всего требуемого функционала адаптера на этапе изготовления. Минусом такого подхода является неизбежное разрастание комплекта запасных частей, инструмента и принадлежностей (ЗИП) изделия, поскольку адаптером для радиолинии №1 невозможно будет заменить вышедший из строя адаптер радиолинии №2. Таким образом, значительно возрастает риск ситуации, при которой в случае смены на определённых каналах изделия принимаемой радиолинии или хотя бы варианта сложения у службы эксплуатации не

будет в наличии нужного субблока. Даже в случае наличия полного комплекта ЗИП процесс замены адаптера будет слишком сложен и неизбежно увеличит вероятность ошибки в действиях службы.

В итоге, разработчики предприятия пришли окончательно к следующему решению, которое используется до сих пор во всех применяемых модификациях ПАОС и является их отличительным признаком. Адаптеры с МПС (исключая адаптер обмена по автоматизированному каналу) содержат в конструкции постоянное запоминающее устройство (ПЗУ) сравнительно небольшой ёмкости, в котором без возможности перезаписи находится программа загрузки из ЦП функционального программного обеспечения (ПО) для выполнения требуемой задачи. При подаче питания на адаптер микропроцессор выполняет программу из ПЗУ и поддерживает загрузку через интерфейс связи функционального ПО в оперативное запоминающее устройство (ОЗУ) с последующим сбросом микропроцессора и переходом к выполнению программы из ОЗУ. Разумеется, загрузку можно производить в любое время после первой с момента подачи питания инициализации МПС в режиме загрузки. Загрузка производится средствами ЦП с максимально простым для оператора интерфейсом, исключая необходимость подключения к ПАОС такого стороннего оборудования, как внешние программаторы. В противном случае потребовалось бы дополнительно комплектовать программатором каждое изделие и обучать службу эксплуатации работе с ним. Кроме того, это привело бы к необоснованному росту затрат времени и иных ресурсов, необходимых на обслуживание изделия.

## 2. ПАОС УМ-849 с подключением по шине обмена *ISA*

Для разрабатываемого КСА был предложен адаптер УМ-849 для обработки сообщений в форматах радиолиний, а также для передачи сообщения в аппаратуру каналообразования в телефонных и телеграфных сетях передачи данных. Вычислительный комплекс изделия базировался на *IBM*-совместимом компьютере типа *PC/AT* в промышленном конструктивном исполнении. Обмен с периферийными устройствами реализован на базе шины *ISA* (*Industry Standard Architecture, ISA bus*), и ПАОС, соответственно, подключается по данной шине к ЦП в 8-битном режиме. Принципиальные решения в разработке функциональной схемы этого адаптера будут, в дальнейшем, в том или ином виде, повторяться с развитием ПАОС.

Функциональная схема ПАОС УМ-849 приведена на рис. 1.

Микропроцессором для этого устройства был выбран 1867BM1 производства АО «НИИЭТ», аналог процессора цифровой обработки сигналов TMS320C10 производства *Texas Instruments*. Процессор функционирует на тактовой частоте в 20 МГц (выполнение большинства инструкций занимает 4 такта), имеет 16-разрядную внешнюю шину данных, 12-разрядную внешнюю адресную шину (соответственно, объём адресуемой программной памяти составляет 4096 x 2 байта), 1 вход прерывания и порты управления периферией на базе шин данных и адреса. Компилятор для данной архитектуры отсутствует, ПО разрабатывалось на языке ассемблера.

ПЗУ для хранения программы загрузки выполнено на микросхемах M556PT7A, ОЗУ программной памяти для функционального ПО и ОЗУ памяти данных – KP537PY25A. Шина данных обоих типов микросхем 8-битная, поэтому там, где необходимо было обслуживать 16-битную шину, микросхемы используются парно, каждая из пары обслуживала свой байт 16-битного слова. Обмен данными между составными частями адаптера осуществляется через внутреннюю магистраль. Все составные части адаптера имеют высокоимпедансное состояние, выход из которого обеспечивается с помощью специальных сигналов управления, вырабатываемых с помощью дешифраторов режима работы портов 1554ИД7 под

управлением микропроцессора. Номера портов в данной статье полностью не приводятся ввиду высокого объёма информации

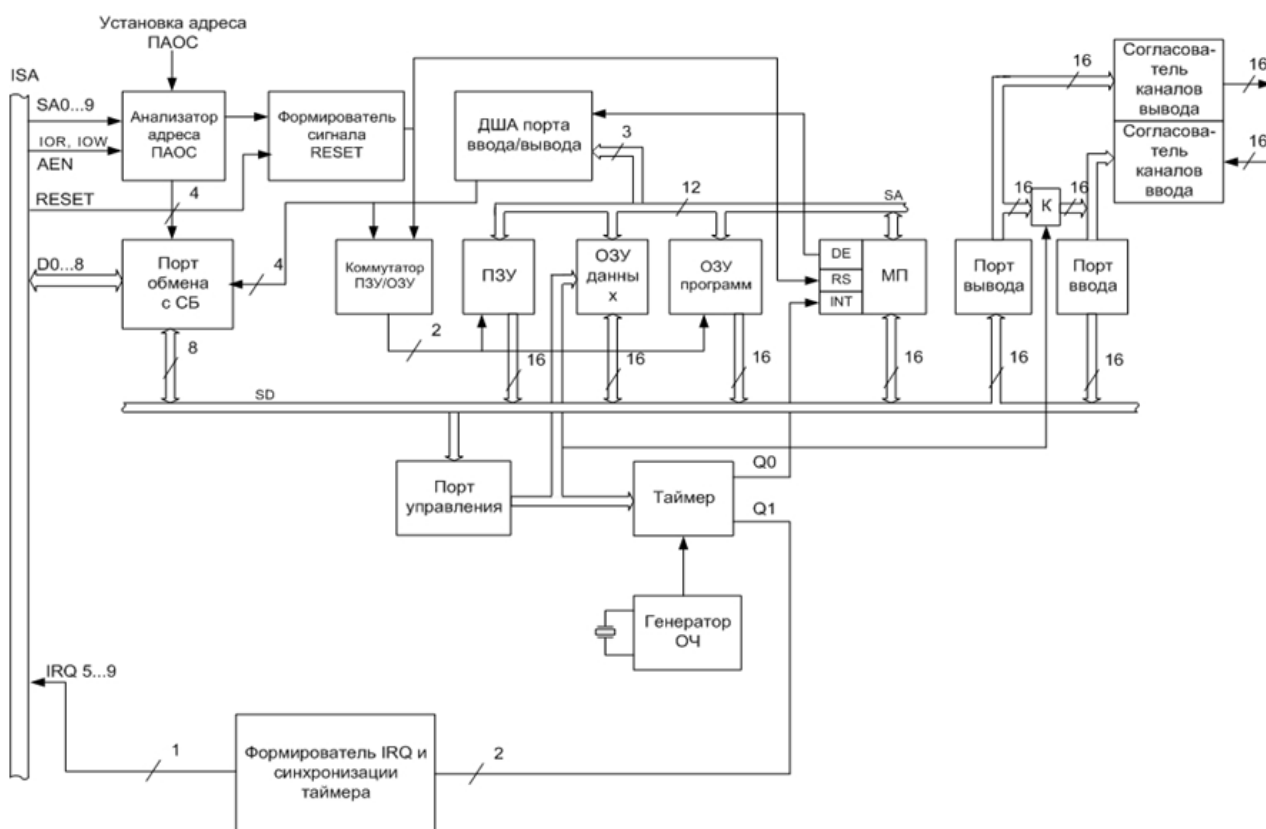


Рис. 1. Функциональная схема УМ-849 (ПАОС)

На рис. 2 представлено фото адаптера.

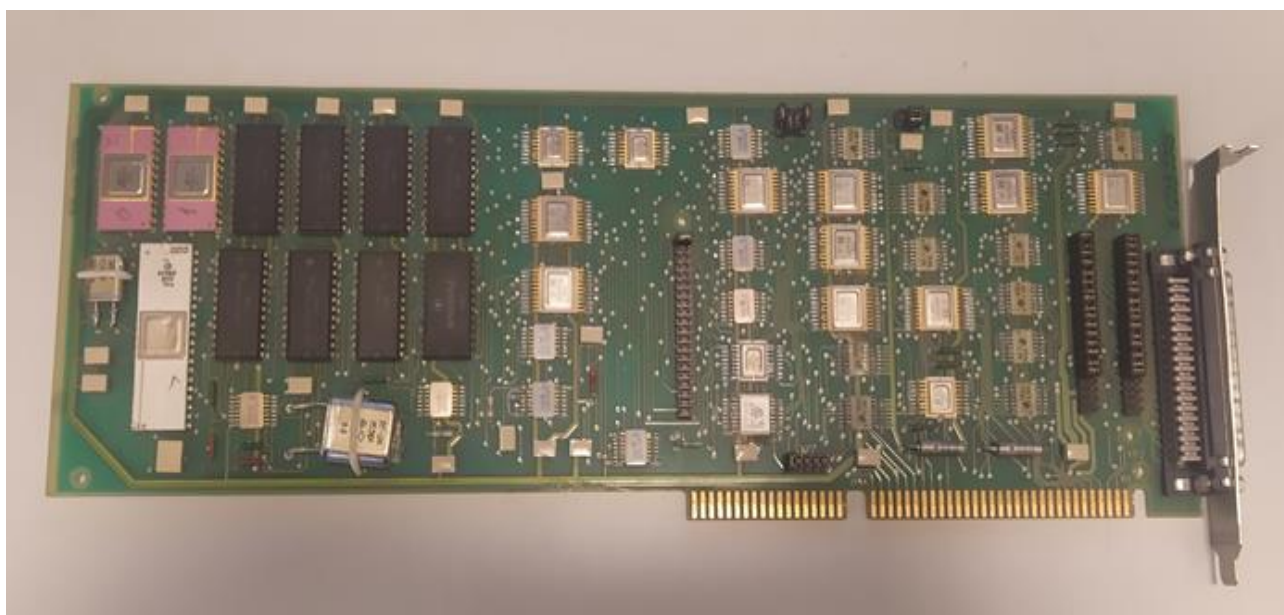


Рис. 2. Внешний вид ПАОС



Обмен данными производится поблочно под управлением ЦП. Для управления работой ПАОС предусмотрен регистр состояния, 2-х канальный *D*-триггер 1554ТМ2, программно доступный через интерфейс шины *ISA*. ПАОС обеспечивает последовательный прием информации по шестнадцати независимым каналам, предварительную обработку принимаемой информации, запоминание поступающей информации в ОЗУ данных и передачу информации в универсальную вычислительную машину (УВМ).

Постоянное запоминающее устройство загрузки (ПЗУ загрузки) предназначено для хранения постоянных, не изменяемых частей программ работы процессора – программы загрузки. Программа загружается в ПЗУ однократно при помощи программатора фирмы *Sterh ST-011*. Порт ввода данных (1554ИР23) предназначен для приема последовательного потока информации по шестнадцати независимым каналам и выдачу ее на внутреннюю магистраль ПАОС. Порт вывода данных на (1554АП5) и формирователь выходных данных обеспечивают выдачу с внутренней магистрали ПАОС последовательной информации по шестнадцати независимым каналам на передающие устройства. Оба порта физически сопрягаются с внешними устройствами через соединитель СНП268-37РП32-1-4-В. Порт управления предназначен для организации доступа к ОЗУ данных и к программируемому таймеру. Адрес каждого ПАОС присваивается при помощи переключек (джамперов).

Кварцевый генератор предназначен для выдачи опорной частоты 1536 кГц), которая поступает на программируемый таймер. Микропроцессор имеет встроенный генератор, стабилизированный кварцевым резонатором частотой 20 МГц.

Загрузка в ОЗУ программ производится через шину *ISA* при включении изделия. При включении питания происходит выработка УВМ сигнала «*RESET*», по которому схема переключения ПЗУ/ОЗУ переходит в режим загрузки ПО в ОЗУ. Кроме аппаратного сигнала «*RESET*», в ПАОС предусмотрена выработка программного сигнала «*RESET*» в адресной сетке внешних устройств. При обращении по этому адресу производится начальная установка ПАОС. Под управлением программы загрузки микропроцессор производит запись поступающей информации в ОЗУ программ. В случае сбоя (несовпадения контрольной суммы) загрузка повторяется до трех раз, после чего ЦП формирует данные о неисправности адаптера ПАОС. МП адаптера по нормальному завершению процесса обмена через дешифратор внешних портов переводит схему переключения ПЗУ/ОЗУ в режим, при котором вместо ПЗУ загрузки к выходам микропроцессора подключается ОЗУ программ и производится запуск рабочей программы. ПАОС готов к выполнению действий, предусмотренных рабочей программой.

Таймер 580ВИ53 предназначен для формирования опорной частоты, значения которой задаются программно. Данные для программирования поступают через порт управления работой таймера. Один выход таймера предназначен для выработки сигналов прерывания, которые поступают на вход *INT* микропроцессора, второй – для формирования прерывания ЦП по цепи *IRQ5*. После получения сигнала ЦП обращается по очереди ко всем установленным в системный блок (СБ) ПАОС. В связи с тем, что на одну шину прерывания *IRQ5* может быть подключено до 8 устройств ПАОС, в параллельный порт обмена введен дополнительный регистр состояния, который указывает, какой конкретный ПАОС запрашивает прерывание. Регистр состояния доступен по чтению и записи как со стороны УВМ, так и со стороны ПАОС.

ПАОС поддерживает выполнение следующих функциональных задач:

– прием сообщений по синхронному протоколу в режимах без сложения и со сложением заданной кратности (x2, x4, x8) для радиолиний различных типов;

- передача сообщений по синхронному протоколу без управления и с управлением радиопередающими устройствами (РПДУ);
- прием сообщений по асинхронному протоколу в структуре сообщений радиолиний дополнительных типов;
- передача сообщений по асинхронному протоколу и в формате кода «Морзе» без управления и с управлением РПДУ;
- управление и контроль периферийными устройствами (коммутационные поля, каналы манипуляции, РПУ и РПДУ).

ПАОС позволяет выполнять операции тестирования и контроля состояния внутренних функциональных групп самого устройства и состояния портов ввода/вывода.

### 3. ПАОС УМ-849 с подключением по шине обмена VME

В рамках модернизации СОД был разработан КСА по шине обмена VME. Принципы функционирования остались неизменными. Функционально изделие должно было при необходимости устанавливаться на объектах заказчика без замены каналов связи (за исключением телеграфного канала). IBM-совместимые компьютеры типа PC/AT к тому времени морально устарели и были недоступны для приобретения, поэтому, в первую очередь, встала задача замены шины обмена данными. В качестве таковой была выбрана VMEbus (VersaModule Eurocard bus) в конструктиве Евромеханика 6U. Перед коллективом разработчиков, куда входил и автор статьи, была поставлена задача в сжатые сроки разработать ПАОС в данном конструктиве с поддержкой вышеупомянутой шины. Функциональная схема адаптера приведена на рис. 3.

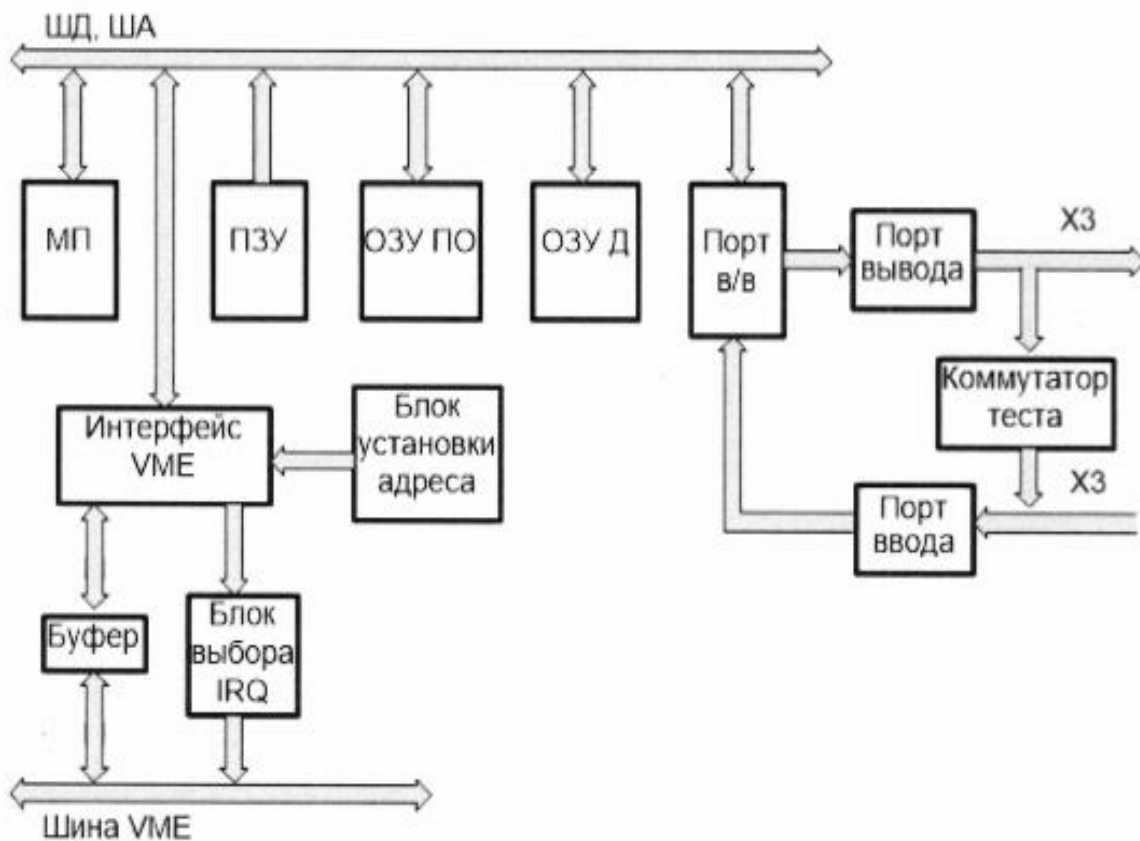


Рис. 3. Функциональная схема адаптера УМ-849 с поддержкой шины VME

На рис. 4 представлено фото адаптера.

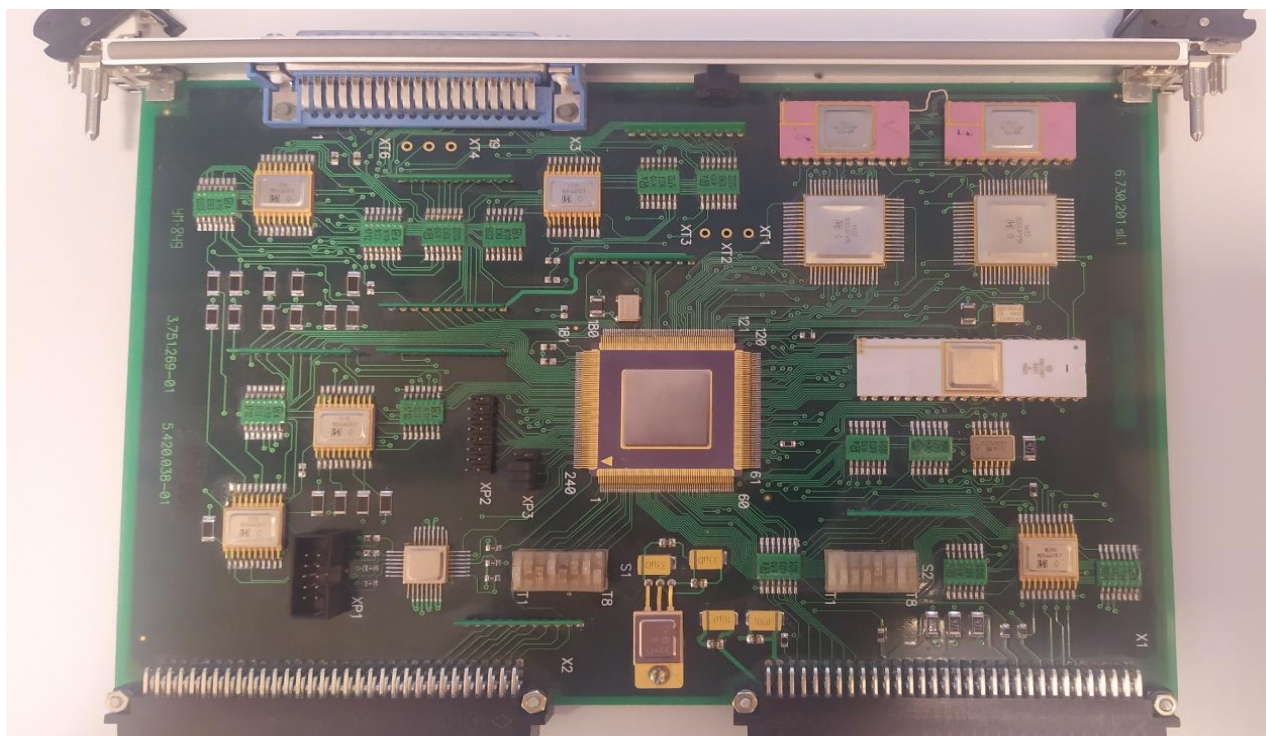


Рис. 4. Внешний вид адаптера УМ-849

На схеме можно заметить существенную схожесть принципов функционирования адаптеров на шине *ISA* и шине *VME*, это позволило сократить сроки разработки. Неизменным осталось использование микропроцессора 1867BM1, благодаря этому с минимальными изменениями было перенесено разработанное для предыдущей версии ПАОС функциональное ПО и ПО загрузки. Выбор ПЗУ также остался прежним – M556PT7A. Основным изменением стало применение программируемой логической интегральной схемы (ПЛИС) 5576XC1T, она используется для реализации множества сложных функций адаптера, которые бы потребовали значительное число логических микросхем. Это реализация поддержки шины *VME* и взаимодействия по ней с ЦП, смены загрузочного режима на рабочий, передача данных между внешним портом и микропроцессором, таймер, выбор режима тестирования временного порта и установка адреса чтения и записи в ОЗУ данных. Все эти функции были реализованы на языке описания аппаратуры *Verilog HDL* (*Verilog Hardware Description Language*). Инициализация ПЛИС осуществляется микросхемой ПЗУ 5576PC1U при подаче питания. На этапе отладки данные для конфигурации загружаются в ПЗУ программатором *Altera ByteBlaster*. В качестве ОЗУ данных и ОЗУ ПО используются микросхемы 9000PU1U – 16-битные микросхемы ОЗУ, объём памяти – 4096 Мбит. Загрузка ПО так же, как и ранее, производится МП под управлением программы в ПЗУ. Вместо кварцевых резонаторов используются кварцевые генераторы тех же номиналов частоты. Внешний порт, реализованный на микросхемах 1554AP5, подключён к ПЛИС, соединитель для физического сопряжения не изменился.

Физическое сопряжение ПАОС с шиной *VME* производится через соединители СНП306-96ВП31-34-1-В. Шина используется в 8-битном режиме, не используются адресные модификаторы, генерируются импульсы прерывания *IRQ5* ЦП. Адрес адаптера и номер прерывания выбираются не джамперами, а рычажками переключателя ВДМ3-8В. В ПЛИС расположены регистр состояния, регистры входных и выходных данных. В

регистре состояния находятся три флага: флаг наличия необработанного принятого байта из ЦП (*D0*), флаг наличия байта к передаче в ЦП (*D1*) и флаг режима загрузка/работа (*D2*). По *VME* шине после каждой передачи байта передаётся признак передачи, который в ПЛИС устанавливает в регистре состояния флаг *D0*. МП считывает флаг, принимает байт и снимает флаг. Если у МП есть байт к передаче, он записывает байт в регистр в ПЛИС и устанавливает флаг *D1*, а ПЛИС передаёт байт и снимает флаг. Работа флага *D2* и режим загрузки ПО и перехода в рабочий режим аналогичны таковым в предыдущей модификации адаптера, изменилась только элементная база для реализации. Таким же образом был перенесён и реализован на шине *VME* механизм генерации прерывания, ответный запрос ЦП и ответ от того адаптера, который прерывание запросил.

Перечень поддерживаемых ПАОС функциональных задач остался прежним за исключением управления работой РПДУ – такая задача при разработке комплекса не ставилась.

#### 4. Предполагаемое дальнейшее развитие ПАОС и обоснование их необходимости

Прежде всего, несмотря на рост вычислительной мощности промышленных ЭВМ, следует признать, что встраиваемые микропроцессорные системы в области разработки комплексов связи по-прежнему не теряют в актуальности. Практически любой из серийно выпускаемых ЭВМ для сопряжения с применяемыми РПУ, РПДУ, модемами и прочим коммуникационным оборудованием требуются физические реализации интерфейсов, что гарантированно вынуждает к производству встраиваемых адаптеров, т. е. экономия на занимаемом пространстве за счёт отказа от встраиваемых систем исключается. Адаптеры должны располагаться вне корпуса ЭВМ, так как интерфейсы имеют максимальные допустимые длины кабелей, а размещение на объекте заказчика окончательного оборудования на близком расстоянии от ЭВМ может и, из опыта, бывает невозможным из-за укомплектования постов и аппаратных связи. Так, максимальная длина кабеля *RS-232* ограничена 15 метрами при максимальной скорости, а между изделием КСА и РПУ расстояние зачастую бывает значительно больше, то же можно сказать и про другие изделия, подключаемые к комплексу.

Если мы принимаем вышеприведённые аргументы, то выглядит необоснованным отказ от микропроцессорной части в составе выносных адаптеров, поскольку она при незначительном дополнительно занимаемом ею пространстве разгружает операционную систему ЭВМ и позволяет увеличить надёжность оборудования: если из строя выходит адаптер, располагающийся внутри ЭВМ вне доступности для замены силами службы эксплуатации без нарушения гарантии, то заменяется вся вычислительная машина. Пока производятся работы, на объекте временно теряется весь или значительная часть функционала изделия (снижается боеготовность), каналов приёма и передачи, а после выполнения работ ЗИП изделия теряет в составе 50-100 % в конкретной позиции – если, к примеру, в состав изделия КСА входит 2 ЭВМ, то в ЗИП изделия находится 1 ЭВМ. Если до пополнения ЗИП из строя выйдет ещё один адаптер, возможности незамедлительно восстановить канал не будет.

Эффективность текущего подхода с функцией программирования адаптера была обоснована выше, отказываться от неё не имеет смысла. Соответственно, дальнейшее развитие ПАОС должно быть сосредоточено на замене морально устаревающей и недоступной к приобретению элементной базы и шин обмена данными с ЦП. На момент исследования ввиду сложной военно-политической обстановки не представляется возможным изготовление ряда применённых в ПАОС микросхем, а также ЭВМ с поддержкой шины *VMEBus*. Представляется перспективным использование локально-вычислительной сети (ЛВС) на базе протокола *TCP/IP* и технологии *Ethernet*, элементная база для реализации вынужденно рассматривается импортного производства.

Преимущество *Ethernet* перед *VMEBus* обосновывается более высокими, в сравнении с последней, компактностью, скоростью передачи, надёжностью доведения данных до получателя и возможностью выбора готовых решений для реализации. Существующие алгоритмы весового сложения для повышения помехоустойчивости следует перенести на язык программирования высокого уровня для улучшения переносимости кода. Годы эксплуатации адаптеров ПАОС на десятках объектов доказали, что решения, заложенные 20 лет назад в ходе их разработки, до сих пор соответствуют высочайшим требованиям, которые заказчик в лице ВС РФ предъявляет к принимаемым на вооружение изделиям.

### Литература

1. Николашин Ю. Л., Мирошников В. И. Создание подсистемы связи и обмена данными командной системы управления силами и средствами ВМФ // Техника средств связи. 2019. № 4 (148). С. 2-10.
2. Филиппов Б. И. Теория электрической связи: учебное пособие. – Новосибирск: Веди, 2011 – 283 с.
3. Plug and Play ISA Specification Version 1.0a – May 5, 1994.
4. ГОСТ Р МЭК 821-2000 Магистраль микропроцессорных систем для обмена информацией разрядностью от 1 до 4 байтов (магистраль VME) Издание официальное – М.: ИПК «Издательство стандартов», 2000. – 204 с.
5. 1014-1987 – IEEE Standart for A Versatile Backplane Bus: VMEBus. 1987. doi: 1109/IEEESTD.1988.8957719.

### References

1. Nikolashin Y. L., Miroshnikov V. I. Creating of a command communication and communication subsystem Navy Force and equipment control system // Means of communication equipment. 2019. No 4 (148). P. 2-10. (In Russian).
2. Fillipov B. I. Electrical communication theory: tutorial. – Novosibirsk : Vedi, 2011 – 283 p. (in Russian).
3. Plug and Play ISA Specification Version 1.0a – May 5, 1994.
4. GOST R MEK 821-2000. Microprocessor system bus for 1-4 bytes depth information exchange (VME bus) Official publication – М.: IPK Standarts Publ., 2000 – 204 p. (in Russian).
5. 1014-1987 – IEEE Standart for A Versatile Backplane Bus: VMEBus. 1987. doi: 1109/IEEESTD.1988.8957719.

Статья поступила 14 ноября 2022 г.

### Сведения об авторе

Калякин Артем Геннадьевич – Инженер 2-й категории ПАО «Интелтех». Область научных интересов: синтез программируемых адаптеров обработки сообщений.  
Тел. +7(981)168-86-08. E-mail: bartenevia@inteltech.ru.  
Адрес: 197342, Россия, Санкт-Петербург, Кантемировская ул., д. 8.

### History and prospects of development of embedded programmable microprocessor technology as part of automation complexes

A. G. Kalyakin

**Annotation. Problem statement:** the article provides an overview of programmable message processing adapters used to receive signals in radio line formats in the interests of automation complexes. Diagrams, appearance, descriptions of adapter designs are given. The reasons for the applied approaches and technical solutions in the design of adapters are analyzed, suggestions are made for the further development of previously developed products. **The purpose of the work:** description of the existing technology of programmable message processing adapters, justification of

*the effectiveness of the previously chosen approach, formation of proposals for further developments on this topic. **Novelty:** the article for the first time discusses the technology of programmable adapters for processing radio lines and reveals the reasons for the previously chosen solutions and approaches for their design. **The following methods** were used for the study: collecting information about the developed programmable adapters, systematization and description of the design of adapters, analysis of information regarding the comparison of adapters of various modifications, description of their common features and differences introduced in the course of modernization in the design, synthesis of proposals for further implementation within this topic. **The result:** the formation of the foundation in the form of a structured description of the available technical developments for the further development of technical means of processing messages in the format of radio lines in the interests of automation complexes, as well as the direction of these developments. The conducted research has **practical significance:** the described approaches and technical solutions and proposals for further development are suitable for use in subsequent work on the modernization of programmable adapters.*

**Keywords:** programmable message processing adapter, microprocessor system, data exchange bus, subunit, radio line.

#### Author information

*Kalyakin Artem Gennadievich* – Engineer of the 2nd category of PJSC "Inteltech". Research interests: synthesis of programmable message processing adapters. Tel. +7(981)168-86-08. E-mail: bartenevia@inteltech.ru.

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

**Для цитирования:** Калякин А. Г. История и перспективы развития встраиваемой программируемой микропроцессорной техники в составе комплексов средств автоматизации // Техника средств связи. 2022. № 4 (160). С. 84-93. DOI: 10.24412/2782-2141-2022-4-84-93.

**For citation:** Kalyakin A. G. History and prospects of development of embedded programmable microprocessor technology as part of automation complexes. Means of Communication Equipment. 2022. No. 4 (160). Pp. 84-93. DOI: 10.24412/2782-2141-2022-4-84-93. (in Russian).

## ИНФОРМАЦИЯ ДЛЯ АВТОРОВ

### Требования к предоставляемым материалам

Для публикации оригинальной статьи авторы должны представить в редакцию следующие материалы:

1. Файл со статьей.
2. Файлы с рисунками (по отдельному запросу редакции). Предпочтительными вариантами являются векторные рисунки, выполненные в формате **Visio (vsd)** или в форматах метафайлов Windows (**wmf** или **emf**). В случае невозможности представления рисунков в векторном виде, рисунки представляются в растровых форматах **png** или **jpg**.
3. Сканированную копию экспертного заключения об отсутствии в статье материалов, запрещенных к открытому опубликованию (в файле формата **jpg**, 300 dpi, в цвете).
4. Файл, содержащий сведения об авторском коллективе с указанием автора, который будет взаимодействовать с редакцией, с указанием его контактов.

### Требования к оформлению статей, представляемых в редакцию:

1. Статья представляется в формате **Word** с расширением **doc** или **docx**.
2. Рекомендуемый объем статьи – до 10 страниц. Публикацию статей большего объема необходимо согласовать с редакцией в отдельном порядке, с пояснением причины, по которым увеличен рекомендуемый объем.
3. Размер страницы – А4. Все поля (верхнее, нижнее, правое и левое) по 2 см.
4. Текст статьи набирается шрифтом **Times New Roman**, размер 12 pt, межстрочный интервал – 1.0, абзацный отступ – 1,25 см, без отступов между абзацами. В основном тексте допускается курсив. Латинские буквы для обозначений набираются курсивом, греческие, русские буквы и цифровые индексы – прямым шрифтом.
5. В начале статьи индекс **УДК**, выровнен по левому краю. После **УДК** – пропуск строки.
6. Все аббревиатуры по тексту должны быть расшифрованы при первом использовании. Не использовать принудительный перенос строки (**Shift+Enter**), расстановку автоматических и ручных переносов.
7. Название статьи выполняется полужирным шрифтом и выравнивается по центру страницы без абзацного отступа. Название должно быть кратким (не более 10 слов) и точно отражать суть научной статьи. Не рекомендуется использовать в названии сокращения, кроме общепринятых в предметной области, аббревиатуру и формулы. Название предоставляется в редакцию на русском и английском языках. Точка после заглавия не ставится. После названия статьи следует пропуск строки.
8. Инициалы и Фамилии авторов указываются через запятую в соответствии с личным вкладом при написании статьи, выравниваются по центру страницы без абзацного отступа. После фамилий авторов следует пропуск строки.
9. Аннотация выполняется на русском и английском языках, размер шрифта 11 pt, курсив, абзацный отступ 1,25 см. Заголовки элементов аннотации выделяются жирным шрифтом. За аннотацией следует пропуск строки.
10. Ключевые слова оформляются так же, как и аннотация, и должны содержать основные понятия и термины, употребляемые в статье. Ключевые слова формулируются так, чтобы при семантическом поиске по ним можно было найти данную статью заинтересованным ученым. После абзаца с ключевыми словами – пропуск строки.
11. Для структуризации статьи рекомендуется основной текст разделить по частям с условными подзаголовками «**Введение**», «**Постановка задачи**», «**Результаты моделирования**» и пр., «**Выводы**», выполняемые полужирным шрифтом с выравниванием по центру без абзацного отступа. Перед подзаголовками – пропуск строки.
12. Таблицы должны занимать всю ширину текстового поля. В случае малого размера таблиц, допускаются таблицы шириной меньшей, чем ширина текстового поля. Таблицы выравниваются по центру листа без абзацного отступа. Текст внутри таблиц выполняется шрифтом от 10pt до 12pt, в зависимости от степени информационной загрузки. Таблицы нумеруются по порядку упоминания, а их названия оформляются в виде «Таблица 1 – Название таблицы» и выравниваются по центру листа без абзацного отступа. Если таблица выполняется на нескольких страницах, необходимо выставлять

признак заголовка для первой строки с наименованиями столбцов, либо дублировать первую строку с наименованиями на следующей странице. По тексту статьи таблица обозначается, например, как табл. 1.

13. Рисунки выполняются в виде внедренных объектов векторной графики, выполненных в формате **MS Visio (vsd)** или в форматах метафайлов **Windows (wmf или emf)**. В случае невозможности представления рисунков в векторном виде, рисунки выполняются в растровых форматах **jpg** или **png**. Нумерация рисунков последовательная по мере упоминания в статье в виде «Рис. 1. Название рисунка». Номер и название рисунка выравниваются по центру страницы без абзацного отступа. До рисунка и после его названия вставляется пропуск строки. Допускается выполнение рисунков, расположенных параллельно друг другу на одном горизонтальном уровне, при этом рисунки и их названия помещаются в таблицу с прозрачными границами. По тексту статьи рисунки обозначаются, например, как рис. 1. Если рисунок или таблица единственные в статье, то их не нумеруют. В конце названий таблиц и рисунков точка не ставится. Ориентация рисунков и таблиц вертикальная, листа – книжная. Ширина рисунков и таблиц – до 17 см. Рисунки должны быть четкими, с хорошо проработанными деталями.

14. Формулы выполняются в редакторе формул **MathType** либо **Microsoft Equation 3.0**. Формулы могут быть набраны в основном тексте со вставкой специальных математических символов через меню «вставка-символ». Запрещается набирать формулы во встроенном редакторе формул **Microsoft Office 2007** и выше. Основной шрифт формул, набираемых в **MathType** и **Microsoft Equation 3.0**, 12 pt. Формулы выравниваются по центру без абзацного отступа. При необходимости переноса формул используют общепринятую математическую запись переноса. Формулы, на которые есть ссылки в тексте статьи, должны быть пронумерованы. Номер формулы проставляют с правого края страницы. Не следует вставлять пропуски строки до и после формул. Нумерация формул, на которые нет ссылок по тексту, не допускается. Нельзя вставлять в текст отсканированные формулы! Греческие обозначения, скобки и цифры всегда набираются прямым шрифтом. Латинские буквы набираются курсивом как в формулах, так и в тексте, кроме устойчивых форм (**max, min, cos, sin, tg, log, exp, det ...**).

15. Список используемых источников оформляется следующим образом – «**Литература**», который выполняется полужирным шрифтом, по центру страницы без абзацного отступа. Нумерация ссылок определяется порядком их упоминания в статье. Список литературы: от 15 до 40 наименований, из них самоцитирований должно быть не более 20%. В числе источников желательно не менее 50% иностранных (для статей на английском языке – 15% российских). Состав источников должен быть актуальным (не старше 5 лет). Ссылки должны быть только на статьи, патенты, книги и статьи из сборников трудов. В списках литературы не размещать: ГОСТы, рекомендации, диссертации, авторефераты, справочники, энциклопедии, электронные ресурсы без указания автора, законы, и другую нормативную и непериодическую документацию. Эти данные можно указывать в теле статьи в скобках или как постраничные сноски. Список литературы оформляется по ГОСТ 7.05-2008. Если описываемая публикация имеет цифровой идентификатор объекта DOI, его обязательно надо указывать в конце описания ссылки единой записью без пробелов, например: doi:10.1134/S1023193508080077. Допустимы ссылки только на публикации из открытых источников: Elibrary, CyberLeninka, сайты издательств.

16. После подзаголовка «**References**» литература дублируется на английском языке. После списка литературы и References следует пропуск строки. Основные правила при переводе литературы на английский язык, с использованием транслитерации: название русского издательства транслитерируется, если имеется зарегистрированное англоязычное название, то приводится оно. Город и издательство в английском варианте не сокращается. Транслитерация переводных книг не делается. В англоязычной версии статьи следует делать ссылку на оригинальное издание. При переводе книг на английский язык: указывается ФИО авторов на английском языке. Транслитерация названия [перевод названия на английском языке]. Название города на английском языке: Транслитерация названия издательства (либо зарегистрированное англоязычное название издательства). При переводе на английский язык статей из журналов: город и издательство не указываются. Если русскоязычный журнал имеет зарегистрированное англоязычное название или переводную англоязычную версию, то в выходных данных необходимо указывать англоязычную версию названия журнала и статьи (без ее транслитерации). При переводе на английский язык



материалов конференций указывается название конференции на языке оригинала (в транслитерации, если нет ее английского названия), выделенное курсивом. В скобках дается перевод на английский язык. Выходные данные (место проведения, место издания, страницы) представляются на английском языке.

17. После списка **References** указывается дата первого представления статьи в редакцию. Данный абзац выделяется полужирным шрифтом, выравнивание по правому краю страницы.

18. В конце статьи указывается информация о каждом соавторе: фамилия, имя, отчество полностью, ученая степень, ученое звание, должность и полное наименование организации, телефон и e-mail.

19. Статья завершается текстовым блоком, дублирующим название статьи, фамилии и инициалы авторов, аннотацию статьи и ключевые слова на английском языке. Данный текстовый блок начинается с новой страницы и его элементы оформляются так же, как соответствующие элементы на русском языке в начале статьи.

#### **Требования к оформлению файла, содержащего сведения об авторах (по каждому автору):**

1. Фамилия, Имя, Отчество на русском и английском языках.
2. Ученая степень и ученое звание (если есть) на русском и английском языках.
3. Место работы (официальное название) с указанием страны и города на русском и английском языках.
4. Должность на русском и на английском языке.
5. Область научных интересов – на русском и английском языках (Field of research:...).
6. Адрес электронной почты (существующий и действующий) для каждого соавтора.
7. Корреспондентский почтовый адрес (с индексом), рабочий или домашний. Контактный телефон.
8. SPIN – код автора, при наличии.

#### **Рекомендации по написанию аннотации:**

Аннотация должна быть: информативной (не иметь общих слов); содержательной (отражать основное содержание статьи); структурированной (следовать логике изложения материала); компактной (объемом 200-300 слов). В аннотации следует избегать сложных грамматических конструкций и лишних фраз (например, «автор рассматривает...», «автор полагает...» и т. д.). Следует применять конструкции констатирующего и обезличенного характера (доказано, проанализировано, изложено...) и оценочные стандартные словосочетания (уделено основное внимание, актуальный вопрос, важная проблема...). Аннотация не должна включать в себя цитаты из текста статьи.

Аннотация должна включать в себя:

- предмет и цель работы (если они не следуют из названия статьи);
- используемый метод или методы исследования;
- основные результаты исследования;
- отличия данной публикации от других, схожих по теме;
- область применения результатов;
- выводы, рекомендации, перспективы развития работы.

В аннотации следует использовать конструкции констатирующего характера, имеющие обезличенный характер (проанализировано, доказано, изложено и т.д.), а также оценочные стандартные словосочетания (уделено основное внимание, актуальный вопрос, важная проблема, и т.п.). В аннотацию не следует включать иллюстрации, а также следует избегать формул, аббревиатур, специальных знаков, сокращений, условных обозначений и ссылок на номер публикации в списке литературы к статье и т.п. Рекомендуется в тексте аннотации выделять **Введение (Цели исследования, Постановка проблемы** и т.п.), **Результаты, Заключение (Новизна, Выводы, Практическая значимость)**. Большую часть аннотации должен составлять подраздел Результаты, в котором не следует использовать общие слова: «Проведены исследования...», «Разработана методика...», «Разработан модифицированный алгоритм...» и т.д., нужно описать суть исследования, методики, алгоритма. Текст аннотации должен быть лаконичным и четким, свободным от второстепенной информации, лишних вводных слов (например, «автор статьи рассматривает...», «в этой статье...»), общих и незначущих формулировок. Не использовать будущее и настоящее

время, в аннотации описывается уже сделанная научная работа. Текст должен быть связным, с использованием слов «следовательно», «более того», «например», «в результате» и т. д. («consequently», «moreover», «for example», «the benefits of this study», «as a result» etc.), предложения должны логично вытекать одно из другого.

Пример: **Аннотация.** В статье ставится *задача* обосновать.... *Целью* работы является создание модели системы, которая состоит ... В качестве примера используется ... При моделировании используются *методы* ... Это оборудование предназначено для каналов связи ... *Новизна* обсуждаемого решения состоит в ... *К результатам работы* следует отнести создание модели ... Приводятся основные теоретические и экспериментальные результаты, фактические данные, обнаруженные взаимосвязи и закономерности. При этом отдается предпочтение новым результатам и данным долгосрочного значения, важным открытиям, выводам, которые опровергают существующие теории. *Практическая значимость* работы заключается в предложенной структуре ...+ ПЕРЕВОД на английский язык.

#### Проверка на плагиат

Порядок проверки на плагиат и выбор сервиса для проверки определяется редакцией самостоятельно. Для проверки на плагиат редакцией используются Интернет-сервисы: Антиплагиат, ТЕХТ. Публикация статьи в журнале требует уникальности не ниже 75% от основного текста.

**ВНИМАНИЕ!** Редколлегия оставляет за собой право отклонить рукописи, оформленные не по указанным правилам и право потребовать от авторов предоставления оригиналов статей, распечатанных на бумаге и подписанных авторами, а также оригинала экспертного заключения об отсутствии в статье материалов, запрещенных к открытому опубликованию.

#### Образец оформления литературы на русском и английском языках

##### Книга:

Колесников А.А., Веселов Г.Е., Попов А.Н., Колесников Ал. А., Топчиев Б.В., Мушенко А.С., Кобзев В.А. Синергетические методы управления сложными системами: механические и электромеханические системы. М.: ЛИБРОКОМ, 2019. 300 с.

Kolesnikov A.A., Veselov G.E., Popov A.N., Kolesnikov Al. A., Topchiev B.V., Mushenko A.S., Kobzev V.A. *Sinergeticheskie metody upravlenija slozhnymi sistemami: mehanicheskie i jelektromehaničeskie sistemy* [Synergetic methods of control of complex systems: mechanical and Electromechanical systems]. Moscow: LIBRO-KOM, 2019. 300 p. (in Rus).

##### Статья:

Межуев А.М., Савельев М.А. Алгоритм двухпараметрического адаптивного управления структурой радиосети декаметровая радиосвязи // Радиотехника. 2014. № 1. С. 9-14.

Mezhuev A.M., Saveliev M.A. Algorithm of a two-parameter adaptive technique by structure of a radio network of a decameter radio communication. *Radiotekhnika* [Radio engineering]. 2014. No. 1. Pp. 9-14 (in Rus).

##### Конференция:

Вершенник А.В., Федоров В. Г., Попова А.В. Способ защиты информационных потоков в многооператорных информационно-телекоммуникационных сетях // Материалы IV Всероссийской научно-практической конференции «Современные информационные технологии. Теория и практика» (Череповец, 04 декабря 2017 г.). Череповец, 2018. С. 154-158.

Varsenik A.V., Fedorov V.G., Popova A.V. *Sposob zaschity informacionnyh potokov v mnogooperatornyh in-formacionno-telekommunikacionnyh setyah* [Method of protection of information flows in multi-statement information and telecommunication networks]. *Materialy IV Vserossijskoj nauchno-praktičeskoj konferencii "Sovremennye informacionnye tehnologii. Teoriya i praktika"* [Proceedings of the IV all-Russian scientific-practical conference "Modern information technologies. Theory and practice", Cherepovets, on December 04, 2017]. Cherepovets, 2018. Pp. 154-158 (in Rus).

**Электронный ресурс:**

Энеев Т.М., Ахметшин Р.З., Егоров В.А., Ефимов Г.Б. Межпланетные полеты космических аппаратов с электроракетными двигателями // Публичная Электронная Библиотека. URL: <http://www.plib.ru/li-brary/book/20466.html> (дата обращения 10.12.2018).

Jeneev T.M., Ahmetshin R.Z., Egorov V.A., Efimov G.B. *Mezhplanetnye polity kosmicheskikh apparatov s jel-ektroraketnymi dvigateljami* [Interplanetary flights of spacecraft with electric rocket engines]. *Publichnaja Jelektronnaja Biblioteka* [Public Electronic Library]. URL: <http://www.plib.ru/library/book/20466.html> (date of access 10.12.2018) (in Rus).

**Переводная книга:**

Уоррен Г. Алгоритмические трюки для программистов: пер. с англ. М.: Вильямс, 2007. 288 с.  
Warren H.S. *Hacker's Delight*. Boston: Addison Wesley Publ. Company, 2002. 320 p.

**Патент:**

Патент РФ 2326500. Когерентная система передачи информации хаотическими сигналами / Баркетов С.В., Жук А.П., Сазонов В.В., Авдеенко С.И., Жук Е.П., Лохов В.И., Голубь Ю.С. Заявл. 16.08.2006. Оpubл. 10.06.2008. Бюл. № 16. 6 с.

Patent RF 2326500. *Kogerentnaja sistema peredachi informacii haoticheskimi signalami* [Coherent data trans-mission system using random signals]. Barketov S.V., Zhuk A.P., Sazonov V.V., Avdeenko S.I., Zhuk E.P., Lokhov V.I., Golub' J.S. Declared 16.08.2006. Published 10.06.2008. Bulletin No. 16. 6 p. (in Rus).

**Таблица перевода ученых званий, ученых степеней, должностей, заголовков**

д.т.н.; к.т.н.	PhD	Ученое звание	Academic title
профессор	Full Professor	доцент	Docent
Должность	Position	профессор	Professor
профессор кафедры (конкретной)	Professor at the Department of	доцент	Assistant professor
доцент кафедры (конкретной)	Associate Professor at the Department of	старший преподаватель	Senior lecturer
преподаватель	Lecturer	преподаватель кафедры (конкретной)	Lecturer at the Department of
адъюнкт / аспирант	postgraduate student	адъюнкт / аспирант кафедры	Postgraduate at the Department of
докторант	Doctoral Candidate	научный сотрудник	Research Officer
старший научный сотрудник	Senior Research Officer	младший научный сотрудник	Research Assistant
декан	Dean	соискатель кафедры	Applicant at the Department of
начальник кафедры	Head of Department (BrE) Department Chair (AmE)	директор	Director
зав. отделением (конкретного)	Head of the Division of Department Head Department Chair	начальник кафедры (конкретной)	Head of the Department of Chair of the Department of
факультет	Faculty	Место работы	Place of work
отдел	Department	кафедра	Department / Sub-Department
Введение	Intoduction	отделение	Division / Department
Методы	Methods	Цель исследования	Purpose
Практическая значимость	Practical relevance	Результаты	Results
Обсуждение	Discussion		

**СПИСОК НАУЧНЫХ СТАТЕЙ,  
ОПУБЛИКОВАННЫХ В ЖУРНАЛЕ «ТЕХНИКА СРЕДСТВ СВЯЗИ» В 2022 ГОДУ**

	<b>№№</b>
<u>СИСТЕМЫ СВЯЗИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ</u>	
<b>Николашин Ю.Л., Будко П.А., Жуков Г.А.</b> Обеспечение устойчивого доведения команд управления до удаленных исполнительных звеньев	1(157)
<b>Мегера Ю.А.</b> Концепция развития системы ремонта техники связи и автоматизированных систем управления	2(158)
<b>Яшин А.И., Дорогов А.Ю.</b> Структурное проектирование территориально-распределенных радиосетей коротковолнового диапазона	3(159)
<b>Акулов В.С., Талагаев В.И., Угрик Л.Н.</b> Анализ дальности связи и глубины приема сигналов на сверхдлинных волнах	3(159)
<b>Мирошников В.И., Кулешов И.А., Талагаев В.И.</b> Тенденции и особенности развития современных телекоммуникационных систем	4(160)
<u>ПЕРЕДАЧА, ПРИЕМ И ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ</u>	
<b>Хвостунов Ю.С.</b> Предложения по построению аналоговой части SDR радиоприёмных устройств декаметрового диапазона системы радиосвязи с ППРЧ	1(157)
<b>Шаптала В.С., Соколов В.А.</b> Помехоустойчивость радиомодема с последовательным расширением спектра сигнала	1(157)
<b>Будко Н.П.</b> Методы доведения измерительной информации от удаленных и глобально перемещающихся объектов до сервера мониторинга распределенной информационно-телекоммуникационной сети Росморречфлота	2(158)
<b>Щукин А.Н., Солозобов С.А.</b> Формирование спектрально-эффективного OFDM сигнала в базисе дискретных вейвлет-функций	3(159)
<b>Кулешов И.А., Щукин А.Н., Солозов С.А.</b> Устройство формирования сигнала OFDM	4(160)
<u>ЭЛЕКТРОННЫЕ И РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ</u>	
<b>Акулов В.С., Талагаев В.И., Угрик Л.Н.</b> Оценка зон обслуживания систем радиосвязи с земной волной в Арктических районах	1(157)
<u>ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ</u>	
<b>Иванов В.А., Конышев М.Ю., Маркин А.В.</b> Концептуальная модель источника сообщений на выходе мультиплексора для исследования свойств двоичного потока в процедурах сжатия данных	1(157)
<b>Голунов М.В.</b> Аналитическая модель контроля технического состояния радиосредств радиолинии в процессе функционирования с предварительной оценкой сигнальной и помеховой обстановки в канале связи	1(157)
<b>Вознесенский А.С., Миненков Д.В., Гульванский В.В., Антонов С.А., Каплун Д.И.</b> Исследование свойств оконных функций в приложении к синтезу цифровых фильтров методом окон	2(158)
<b>Калякин А.Г.</b> История и перспективы развития встраиваемой программируемой микропроцессорной техники в составе комплексов средств автоматизации	4(160)
<u>АНАЛИЗ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ПЕРСПЕКТИВ РАЗВИТИЯ ТЕХНИКИ СРЕДСТВ СВЯЗИ</u>	
<b>Козлов К.В., Кулешов И.А., Козлова А.К., Сенчуков М.В.</b> Актуальность разработки «цифрового двойника» автоматизированной системы связи, радиотехнического обеспечения и автоматизации управления группировки авиации и войск противовоздушной обороны и предложения по формированию подхода к её выполнению	2(158)
<b>Паращук И.Б., Салюк Д.В.</b> Анализ особенностей и роли современных «сквозных» цифровых технологий в построении и совершенствовании техники средств связи и автоматизации управления специального назначения	2(158)
<b>Шаптала В.С.</b> Построение эквалайзера для радиомодема в диапазоне коротких волн	3(159)
<u>ИНФОРМАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ И ТЕХНОЛОГИИ. СБОР, ХРАНЕНИЕ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ</u>	
<b>Дементьев В.Е., Киреев С.Х.</b> Выбор алгоритмов машинного обучения для классификации текстовых документов	2(158)
<u>ВОПРОСЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ</u>	
<b>Куприянов А.И.</b> Технические основы дезинформации систем перехвата информации цифровых телекоммуникационных систем	1(157)
<b>Кулешов И.А., Талагаев В.И., Мамончикова А.С.</b> Ретроспектива методов и средств радиоэлектронной защиты систем морской радиосвязи	3(159)
<b>Васильев Н.В., Титов Г.С., Раков И.В.</b> Технологии построения систем защищенного электронного документооборота	4(160)
<b>Иванов В.А., Двилянский А.А., Иванов И.В., Гондаренко Е.А.</b> Роль и место электромагнитного оружия при реализации наступательной стратегии в информационной специальной операции	3(159)
<b>Хотченков А.С.</b> Помехозащищенность от электромагнитных помех с помощью экранирования и сетевых фильтров	3(159)
<u>СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ</u>	
<b>Мегера Ю.А.</b> Применение программного обеспечения при решении управленческих задач в общей структуре технического обеспечения связи и автоматизированной системы управления	3(159)
<b>Голунов М.В.</b> Методика функционального контроля средств радиосвязи автоматизированного радиоцентра	3(159)
<b>Боговик А. В., Сафиулов Д. М.</b> Модель оценки качества системы мониторинга технического состояния техники связи и автоматизированных систем управления телекоммуникационных сетей специального назначения	4(160)
<b>Голунов М.В.</b> Предложения по реализации способа функционального контроля средств радиосвязи автоматизированного радиоцентра	4(160)
<u>ОБЪЕКТЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ И ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОБЛАСТИ РАЗРАБОТКИ СРЕДСТВ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ</u>	
<b>Mikhailova E.N.</b> Linguistic analysis of microwave terms	3(159)
<u>МОДЕЛИРОВАНИЕ СЛОЖНЫХ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ</u>	
<b>Молокович И. А.</b> Моделирование передачи трафика IP по радиосети КВ диапазона с помощью Network Simulator NS-2	4(160)
<b>Севастьянов С.И.</b> Основные принципы в оценке технического уровня сложных технических систем	4(160)
<u>ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ</u>	
<b>Семенов С. С., Вылков А. С., Ерыгин В. В.</b> Анализ научно-методического аппарата для проведения предварительной дефектации техники связи военного назначения в условиях огневого поражения противника	4(160)