

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

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

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

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

ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОГО СОВЕТА:

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

Кузичкин А.В. Главный научный сотрудник Научно-исследовательского института телевидения Д.т.н., профессор. Заслуженный деятель науки РФ

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

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:

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

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

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

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

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

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 университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича (г. Санкт-Петербург). Д.т.н., доцент

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). Д.т.н.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Титков И.В. Военный учебно-научный центр Военно-Морского Флота «Военно-морская академия имени Адмирала Флота Советского Союза Н.Г. Кузнецова» (г. Санкт-Петербург). Д.т.н., профессор

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

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

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

Kuleshov I.A. Deputy General Director for Scientific Work of PJSC «Inteltech». Doctor of Technical Sciences, Associate 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. Chief Research Officer of the 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. Honored Worker of Communications of the Russian Federation.

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. Budenniy. 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:

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

Kupriyanov A.I. Moscow Aviation Institut (National Research University) 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. The Bonch-Bruевич St Petersburg State University of Telecommunications" (St. Petersburg). Doctor of Technical Sciences, Associate Professor

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. Associate Professor.

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

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

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

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

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

Tsymbal V.A. Branch of the Great Petr RVSН 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

Titkov I.V. Military Educational and Scientific Center of the Navy "Naval Academy named after Admiral of the Fleet of the Soviet Union N.G. Kuznetsov (St. Petersburg). Doctor of Technical 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: mce-journal@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; РИНЦ (eLIBRARY ID: 77074)

Подписной индекс журнала «Техника средств связи» – 79656

Ссылки для оформления интернет-подписки на журнал:

<https://www.akc.ru/itm/means-of-communication-equipment/>; <https://www.pressa-rf.ru/cat/1/edition/e79656/>

СОДЕРЖАНИЕ

ПЕРЕДАЧА, ПРИЕМ И ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ

Щукин А. Н., Винокур М. В., Кулешов И. А., Солозобов С. А. 2

Многочастотные сигналы для помехозащищенных линий радиосвязи

Баранов А. А., Егоров В. В. 13

Оптимизация параметров информационного сигнала ключевого генератора СДВ диапазона

Акулов В. С., Угрик Л. Н., Жебрун А. М. 22

Влияния глубины буксировки выпускной приемной антенны на качество приема

СИСТЕМЫ СВЯЗИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ

Ильмер Д. В., Шаповалов Ф. А., Помазунов С. А., Исламов А. И. 26

Оценка электромагнитной совместимости корабельной станции спутниковой связи Ку диапазона в условиях взаимных помех от СВ-КВ радиопередающих устройств

МОДЕЛИРОВАНИЕ СЛОЖНЫХ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Иванов В. А., Иванов И. В., Акимов Э. М., Егоров М. В. 39

Имитационная модель мультиплексированного цифрового потока в приемопередающих трактах сетей подвижных средств многоканальной радиосвязи

СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Шаблюк С. М. 49

Алгоритм формирования значений параметров опорной сети передачи данных автоматизированной системы управления специального назначения

Меера Ю. А., Бурлаков А. А., Прищенко В. Н. 59

Процесс управления несоответствиями в ходе организации рекламационной деятельности

Чеботарев С. С., Коротченкова В. В. 70

Основные пути модернизации корпоративного управления инновациями в Российской Федерации

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

Елизаров В. В., Паращук И. Б., Салюк Д. В. 76

Обоснование требований к программно-аппаратным комплексам специального назначения для сбора и обработки информации на основе методов интеллектуального анализа большого количества разнородных и неструктурированных данных

ВОПРОСЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Борисенко Е. В., Егоров М. В., Квашенников В. В., Шабанов А. К. 90

Подходы к совершенствованию телекодовой аппаратуры связи для обмена данными с авиационными комплексами

CONTENTS

TRANSMISSION, RECEPTION AND PROCESSING OF SIGNALS

Shchukin A. N., Vinokur M. V., Kuleshov I. A., Solozobov S. A. 2

Multi-frequency signals for interference-free radio communication lines

Baranov A. A., Egorov V. V. 13

Optimization of the parameters of the information signal of the key shift range generator

Akulov V. S., Ugrik L. N., Zhebrun A. M. 22

The influence of the towing depth of the exhaust receiving antenna on the reception quality

COMMUNICATION AND TELECOMMUNICATION SYSTEMS

Ilmer D. V., Shapovalov F. A., Pomazunov S. A., Islamov A. I. 26

Assessment of electromagnetic compatibility of the ship's satellite communication station of the Ku band in the conditions of mutual interference from MF-HF radio transmitters devices

MODELING OF COMPLEX ORGANIZATIONAL AND TECHNICAL SYSTEMS

Ivanov V. A., Ivanov I. V., Akimov E. M., Egorov M. V. 39

A simulation model of a multiplexed digital stream in the transceiver paths of mobile multichannel radio communication networks

CONTROL SYSTEMS

Shablyuk S. M. 49

Algorithm for determining parameter values for the data transmission network of the special-purpose automated control system

Megeera Yu. A., Burlakov A. A., Prishchenko V. N. 59

Process of inconsistency management in the course of organization of reclamation activity

Chebotarev S. S., Korotchenkova V. V. 70

The main ways to modernize corporate innovation management in Russian Federation

INTELLIGENT INFORMATION SYSTEMS

Elizarov V. V., Parashchuk I. B., Salyuk D. V. 76

Substantiation of requirements for special-purpose software and hardware complexes for collecting and processing information based on methods of intellectual analysis of a large number of heterogeneous and unstructured data

INFORMATION SECURITY ISSUES

Borisenko E. V., Egorov M. V., Kvashennikov V. V., Shabanova A. K. 90

Approaches to improving telecode communication equipment for data exchange with aviation complexes

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: 10.24412/2782-2141-2024-1-2-12

Многочастотные сигналы для помехозащищенных линий радиосвязи

Щукин А. Н., Винокур М. В., Кулешов И. А., Солозобов С. А.

Аннотация. Цель статьи – показать, как осуществляется формирование и обработка шумоподобных сигналов в средствах помехозащищенных линий радиосвязи. В качестве шумоподобного сигнала используется многочастотный сигнал, полученный на основе использования теории вейвлет-преобразования. Представлена методика формирования и обработки многочастотного сигнала в базисе вейвлет-функций. Приведены временные характеристики узкополосного сигнала, который преобразуется в шумоподобный многочастотный сигнал; спектры узкополосного и многочастотного сигналов на входе модулятора и его выходе; зависимость пик-фактора многочастотного сигнала от длины псевдослучайной последовательности и типа вейвлет-функций; частотно-временное распределение многочастотного сигнала с высоким разрешением по времени и частоте. Также представлены временные зависимости шумоподобного сигнала на выходе модулятора, при интерполяции его методом с использованием преобразования Фурье, и сигнала, искаженного каналом связи, на входе демодулятора. Проведен анализ помехоустойчивости многочастотного сигнала при распространении его в каналах с белым Гауссовским шумом, Райса и Рэлея. Представлены графики помехоустойчивости многочастотного сигнала для каналов различной физической природы. Для формирования и обработки многочастотного сигнала при моделировании использовались вейвлет-функции Добеши. На графиках, характеризующих помехоустойчивость сигнала, представлены результаты теоретического расчета вероятности ошибки для фазоманипулированного псевдослучайной последовательностью сигнала, с использованием аналитического выражения для относительно фазоманипулированных сигналов в каналах с переменными параметрами и полученные путем моделирования процессов формирования и обработки многочастотных сигналов. Представлены результаты: методика формирования и обработки многочастотного сигнала, графики узкополосного и многочастотного сигналов, а также помехоустойчивость, полученная в результате имитационного моделирования процессов формирования и обработки многочастотных сигналов. Выполнен анализ полученных результатов. Результаты работы могут быть реализованы при создании помехозащищенных комплексов радиосвязи.

Ключевые слова: вероятность ошибки, отношение сигнал/шум, пик-фактор, помехозащищенные линии радиосвязи, помехоустойчивость многочастотного сигнала, спектр многочастотного сигнала, формирование и обработка многочастотного сигнала.

Введение

Методы расширенного спектра получили свое название благодаря тому, что полоса частот, используемая для передачи информации, намного шире минимальной полосы, необходимой для ее передачи. Основная идея метода состоит в том, чтобы распределить информационный сигнал в широкой полосе частот, что в итоге позволяет значительно усложнить его подавление или перехват.

В настоящее время широкое распространение, для передачи информации в сетях радиосвязи получили шумоподобные сигналы (ШПС), использующие технологию ФМ-ПСП [1, 2]. Эти сигналы реализуются на основе методов цифровой обработки сигналов.

Однако кроме ФМ-ПСП существует большое количество шумоподобных сигналов, обладающих высокой помехозащищенностью [3], среди которых и параллельные сигналы или многочастотные сигналы (МЧС).

МЧС являются аналоговыми сигналами и для их обработки трудно реализовать цифровые методы на основе интегральных микросхем и программного обеспечения. Кроме того, они имеют большой пик-фактор. Для получения большой базы МЧС необходимо реализовать большое число частотных каналов обработки. В связи с указанными недостатками МЧС не нашли, до настоящего времени, широкого практического применения.

Использование вейвлет-функций, при формировании МЧС, позволяет реализовать их на основе микросхем, с программным обеспечением, реализующим цифровые методы обработки.

1. Методика формирования и обработки многочастотных сигналов

Многочастотный сигнал формируется в модуляторе *IDWT* (*Inverse Discrete Wavelet Transform*), представленном в работах [4, 5].

Многочастотные сигналы являются суммой N гармоник, амплитуда, частота и фаза каждой из которых определяются в соответствии с выбранными вейвлет-функциями.

Ширина спектра МЧС, сформированного на основе теории вейвлет-преобразования, зависит от выбранного семейства и типа вейвлет-функций, и определяется скоростью передачи информации и длиной последовательности расширения (базой МЧС), используемой для расширения спектра.

Методика формирования и обработки многочастотных сигналов заключается в следующем.

- 1) Шумоподобный сигнал на входе модуля *IDWT*-ШПС:

$$S(x, C) = [x(i) \cdot C(j)], \quad (1)$$

где: $x(i)$ – биполярный сигнал (информационный); $C(j)$ – М-код (последовательность расширения (ПСП)).

- 2) Многочастотный сигнал на выходе передатчика (модуля *IDWT*-ШПС):

$$s(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} * \sum_{k=-\infty}^{\infty} S(x, C) * 2^{n/2} * \psi(2^n * t - k), \quad (2)$$

где: n – определяет масштаб вейвлет-функции; k – сдвиг вейвлет-функции вдоль оси времени с масштабом n ; $\psi(\dots)$ – дискретная вейвлет-функция.

- 3) Многочастотный сигнал на входе приемника (входе модуля *DWT*-ШПС):

$$y(t) = s(t) + n_{ш}(t). \quad (3)$$

- 4) Шумоподобный сигнал на выходе модуля *DWT*-ШПС:

$$Y(n, k) = \sum_t y(t) * 2^{n/2} * \psi(2^n * t - k). \quad (4)$$

5) Определение автокорреляционной функции (АКФ) и принятие решения о переданном информационном бите:

$$R(C, Y) = E[C(j)Y(n, k)], \quad \begin{aligned} &|R(C, Y) > 0 \rightarrow 1 \\ &|R(C, Y) < 0 \rightarrow 0. \end{aligned} \quad (5)$$

Представленная методика позволяет провести имитационное моделирование процессов формирования и обработки многочастотных сигналов на основе использования теории вейвлет-преобразования.

2. Моделирование процессов формирования и обработки многочастотных сигналов

В процессе моделирования проводилось формирование МЧС, определение ширины спектра сигнала, его структуры, значения пик-фактора, а также анализ помехоустойчивости

сигнала при его обработке в каналах *AWGN* (*Additive White Gaussian Noise*), Райса (*Rician*) и Рэлея (*Rayleigh*).

Исследования процессов формирования и обработки МЧС осуществлялось в среде *MatLab*.

В имитационной модели процессов формирования и обработки МЧС, сигнал формировался и обрабатывался при условиях:

- вейвлет-функция : *db35*;
- длина псевдослучайной последовательности (база МЧС): 8 чипов;
- скорость передачи информации: 1000 бит/с.

Процесс формирования многочастотного ШПС представлен на рис. 1.

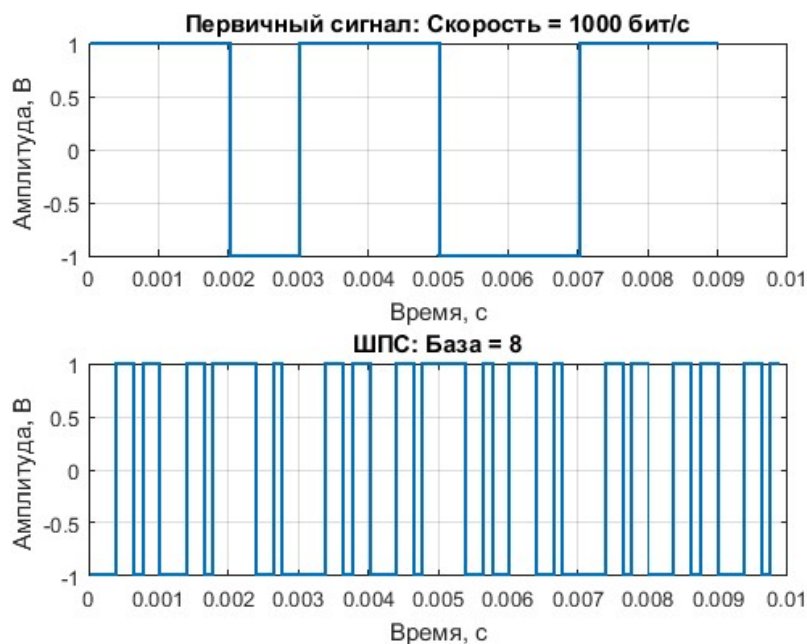


Рис. 1. Процесс формирования многочастотного широкополосного сигнала

На верхнем рисунке показан первичный сигнал, представляющий собой двоичную последовательность, преобразованную в бинарный сигнал. На нижнем рисунке показан шумоподобный сигнал, представляющий собой последовательность из восьми чипов на каждом информационном бите. Ширина спектра шумоподобного сигнала определяется величиной обратнопропорциональной длительности чипа псевдослучайной последовательности.

На рис. 2 представлены спектры информационного узкополосного сигнала (УПС) и преобразованного, с использованием вейвлет-функции, МЧС.

Из рисунка видно, что спектр МЧС в B раз шире, чем спектр первичного информационного сигнала. В полосе частот, занимаемой МЧС ($DF=8$ кГц), сосредоточено свыше 99 % энергии при использовании вейвлет-функции *db35*.

На рис. 3 приведены графики, показывающие зависимость пик-фактора многочастотного сигнала от размера его базы (длины последовательностей расширения) и ее структуры на выходе квадратурного преобразователя частоты при использовании вейвлет-функции *db35*.

Из рисунка видно, что для данного типа вейвлет-функции и разных структур последовательностей расширения, при изменении его базы на величину 2^m ($m = 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8$), пик-фактор МЧС не превышает ~9.5 дБ.

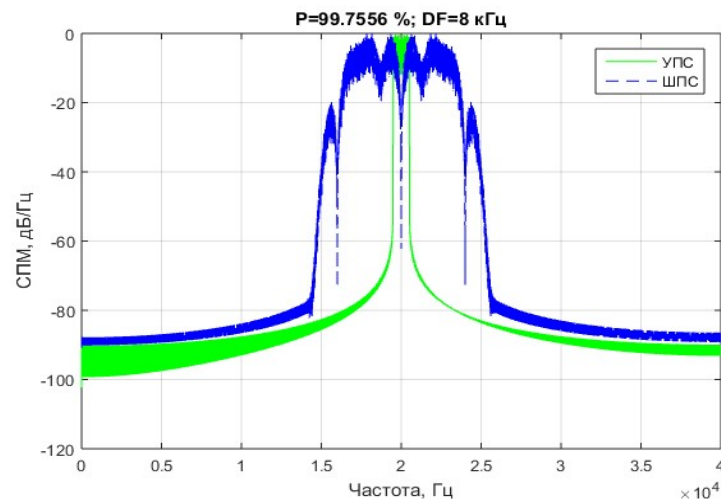


Рис. 2. Спектры узкополосного сигнала и шумоподобного многочастотного сигнала

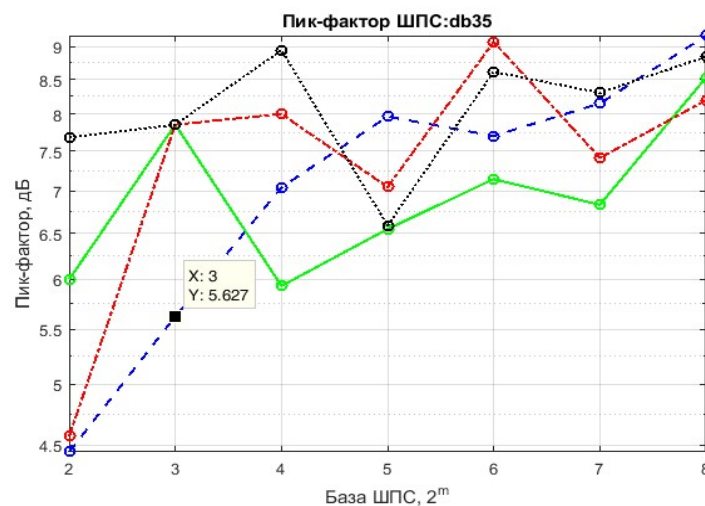


Рис. 3. Пик-фактор многочастотного сигнала

При моделировании было установлено, что величина пик-фактора зависит как от типа вейвлет-функции, так и структуры последовательностей расширения. Для других типов вейвлет-функции и структур последовательностей расширения пик-фактор будет иметь другие значения.

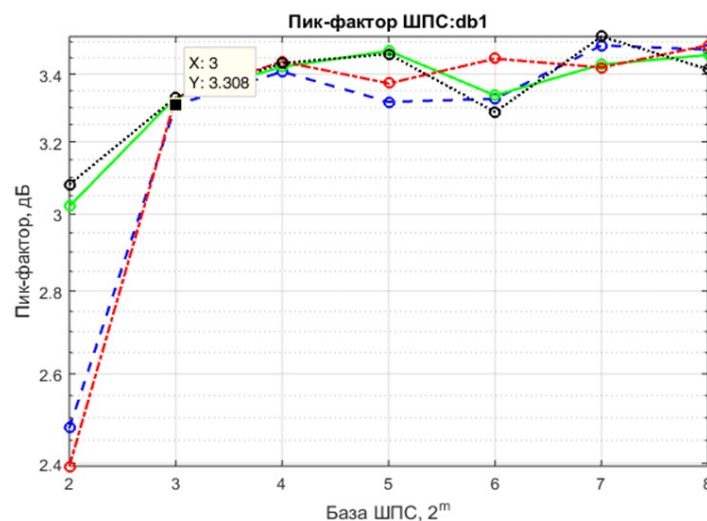


Рис. 4. Пик-фактор многочастотного сигнала

На рис. 4 приведены графики, показывающие зависимость пик-фактора МЧС от размера его базы при использовании вейвлет-функции *db1*. Из рисунка видно, что для данного типа вейвлет-функции, при изменении его базы на величину 2^m , пик-фактор не превышает ~ 4.0 дБ.

Следует также отметить, что пик-фактор вейвлет-функций Добеши (*db*) не превышает 10 дБ при изменении длины базы МЧС от 4 до 256, определяемой значением 2^m .

На рис. 5 приведена спектрограмма (для 10 бит длительностью 1 мс), показывающая частотно-временное представление многочастотного сигнала (узкое окно преобразования Фурье (хорошее разрешение по времени)). Из рисунка видно, что на длительности одного бита (желтые и оранжевые цвета) передаются 8 чипов (база МЧС), соответствующие количеству чипов на длительности бита.

На рис. 6 приведена спектрограмма (для 10 бит), показывающая частотно-временное представление многочастотного сигнала (широкое окно преобразования Фурье (хорошее разрешение по частоте)). Из рисунка видно, что каждый бит информации передается на разных частотах, в полосе 8 кГц (оранжевый и желтый цвета), с разным количеством частот (6, 8) и уровнем сигнала на них.

На рис. 7 приведены временные диаграммы сигналов на выходе модулятора и входе демодулятора ШПС, показывающие собой изменение сигналов во времени на длительности одного бита. Из рисунка видно, что на каждый отсчет МЧС накладывается отсчет шума (график штриховой линией), что приводит к искажению принимаемого многочастотного сигнала.

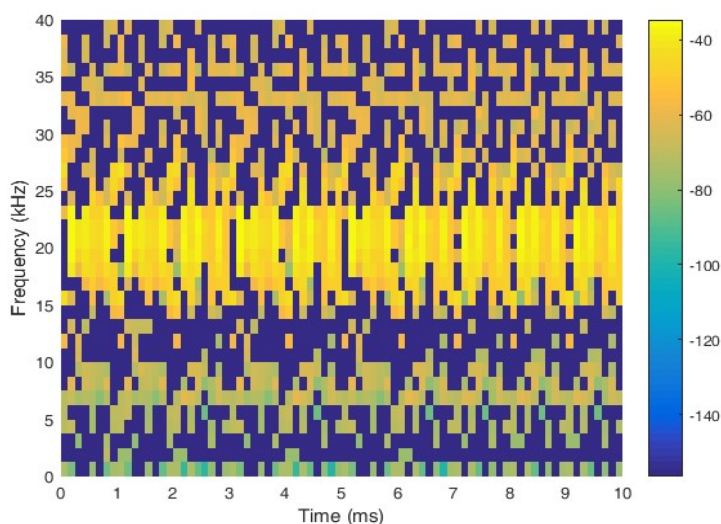


Рис. 5. Частотно-временное представление многочастотного сигнала

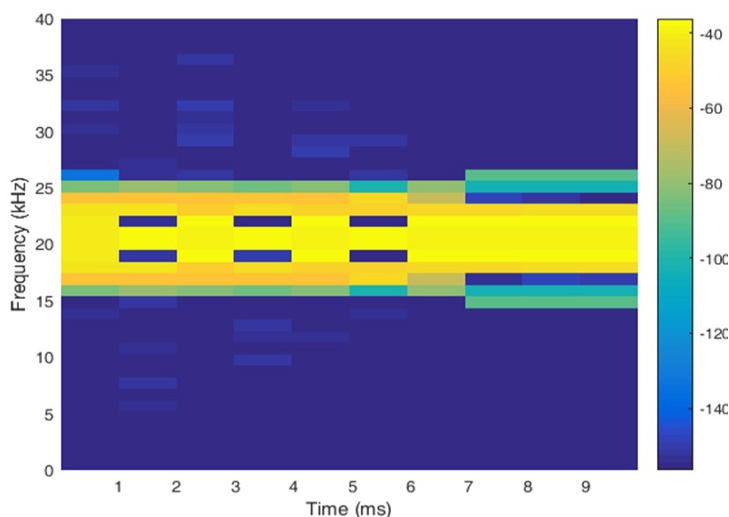


Рис. 6. Частотно-временное представление многочастотного сигнала

На рис. 8 представлен спектры сигнала МЧС на входе канала Рэлея и его выходе (входе приемника), соответствующие сигналам, изображенным на рис. 7.

Из рисунка видно, что спектр МЧС, сформированного сигнала, на входе и выходе канала Рэлея различаются по уровню и структуре. Это обусловлено тем, что шумы различной физической природа и замирания в канале искажают МЧС.

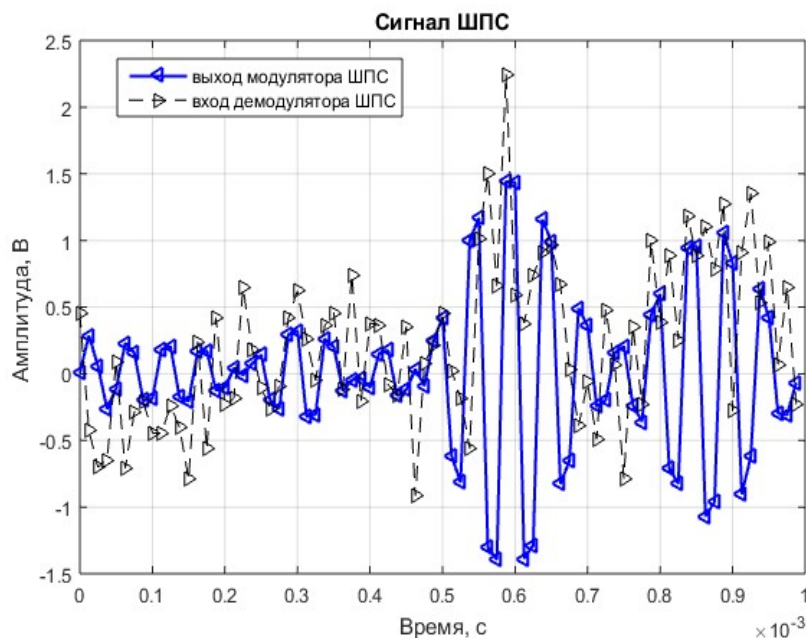


Рис. 7. Многочастотный сигнал на выходе модулятора и входе демодулятора ШПС

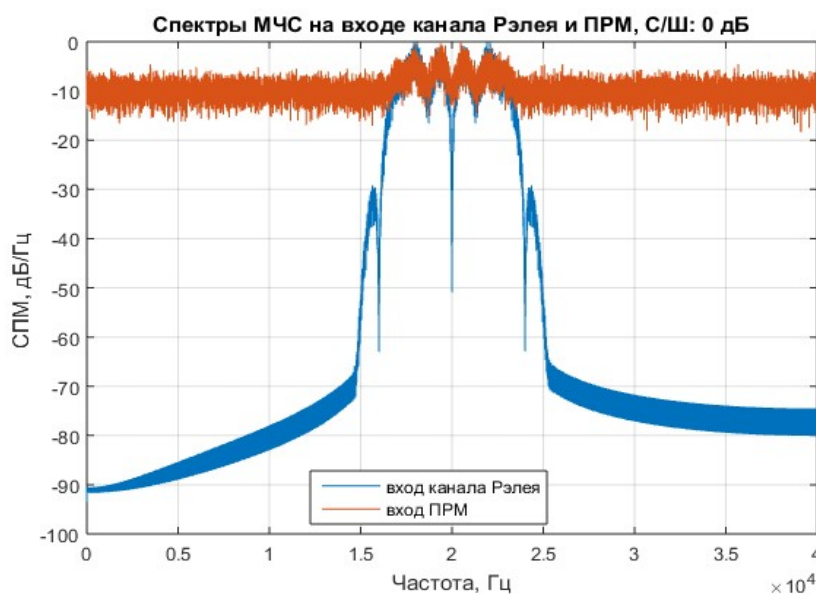


Рис. 8. Многочастотный сигнал на входе и входе канала Рэлея

3. Оценка влияние типа канала на помехоустойчивость радиосвязи

Влияние канала связи на помехоустойчивость приема информации, передаваемой МЧС, оценивается вероятностью ошибки в каналах с белым гауссовским шумом (БГШ), Рэлеевском и Райсовском каналах.

Параметры многолучевого (2-х лучевого) канала (Рэлей) соответствуют Рекомендациям ITU-R F.1487 «Испытание высокочастотных модемов с шириной полосы частот до 12 кГц с использованием имитатора ионосферных каналов», а именно, одинаковые уровни лучей в точке приема равные 0 дБ, полоса частот равна 8 кГц, задержка между лучами равна 1.0 мс. Параметры канала соответствуют каналу радиосвязи при благоприятных условиях ведения связи в высоких широтах.

Такие же параметры имеет и канал с Райсовскими условиями распространения радиоволн и имеющим $KFactor = 3$.

Параметры моделирования для каналов типа 'Rayleigh' и 'Rician' представлены табл. 1.

Для канала с переменными параметрами (Рэлеевский) помехоустойчивость, с учетом длины последовательности расширения (база), определяется выражением для сигнала ОФМ [6]

$$P_{\text{ош}} = 1/(2 + 2 * B * h^2), \quad (6)$$

где: B – база $h = E_c/N_0$ многочастотного сигнала; h – отношение энергии сигнала E_c к энергии шума N_0 .

База МЧС определяется длиной M -кода. Пропорционально базе ШПС увеличивается отношение сигнал/шум в радиолинии с ФМ-ПСП.

Для корректного сравнения помехоустойчивости моделируемого многочастотного сигнала с помехоустойчивостью сигнала ФМ-ПСП, при расчете $P_{\text{ош}}$, с использованием выражения (6), отношение сигнал/шум увеличивалось на величину пик-фактора моделируемого сигнала.

Таблица 1 – Параметры канала Рэля и Райса

ChannelType: 'Rayleigh'	ChannelType: 'Rician'
InputSamplePeriod: 6.25e-05	InputSamplePeriod: 6.25e-05
DopplerSpectrum: [1x1 doppler.jakes]	DopplerSpectrum: [1x1 doppler.jakes]
MaxDopplerShift: 0	MaxDopplerShift: 0
PathDelays: [0 1.0e-03 2.0e-03]	PathDelays: [0 1.0e-03 2.0e-03]
AvgPathGaindB: [0 0 0]	AvgPathGaindB: [0 0 0]
NormalizePathGains: 1	KFactor: 3
StoreHistory: 0	DirectPathDopplerShift: 0
StorePathGains: 0	DirectPathInitPhase: 0
PathGains: [1x2 double]	NormalizePathGains: 1
ChannelFilterDelay: 0	StoreHistory: 0
ResetBeforeFiltering: 1	StorePathGains: 0
NumSamplesProcessed: 1200000	PathGains: [1x2 double]
	ChannelFilterDelay: 0
	ResetBeforeFiltering: 1
	NumSamplesProcessed: 1200000

На рис. 9 приведены графики зависимости вероятности ошибки МЧС от отношения сигнал/шум на входе демодулятора, при двухлучевом распространении с задержкой между лучами 1 мс. и уровнем лучей в точке приема 0 дБ. Графики вероятности ошибки построены путем расчета по формуле (6) (Теория-ФМ-ПСП) с учетом пик-фактора МЧС (PF), и полученные при моделировании процессов формирования и обработки МЧС для вейвлет-функции $db35$. Из графиков рис. 9 видно, что помехоустойчивость МЧС, в каналах различной физической природы, выше чем сигнала с ФМ-ПСП в канале с переменными параметрами.

Вероятности ошибки в Рэлеевском и Райсовском каналах, при двухлучевом распространении МЧС, совпадают. Это обусловлено тем, что МЧС, передаваемый как по каналу с Рэлеевскими, так и Райсовскими замираниями, в точке приема одинаково изменяет свою структуру.

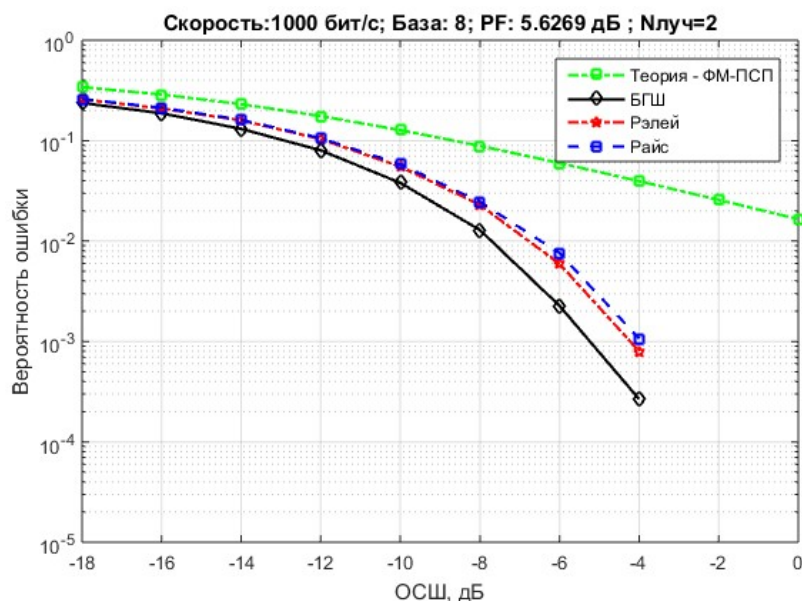


Рис. 9. Вероятность ошибки многочастотного сигнала

На рис. 10 приведены графики зависимости вероятности ошибки МЧС от отношения сигнал/шум на входе демодулятора, при двухлучевом распространении с задержкой между лучами 2 мс. и уровнем лучей в точке приема 0 дБ. Графики вероятности ошибки построены также путем расчета по формуле (6) (Теория-ФМ-ПСП) с учетом пик-фактора МЧС (PF), и полученные при моделировании процессов формирования и обработки МЧС в двухлучевом канале для вейвлет-функции $db35$. Из графиков рис. 10 видно, что помехоустойчивость МЧС, в каналах различной физической природы, также выше чем сигнала с ФМ-ПСП в канале с переменными параметрами.

Сравнивая графики рис. 9 и 10 можно увидеть то, что изменение задержки между лучами с 1 до 2 мс. не влияет на качество приема информации, передаваемой в радиолинии с использованием МЧС, тот есть графики рисунков практически одинаковые.

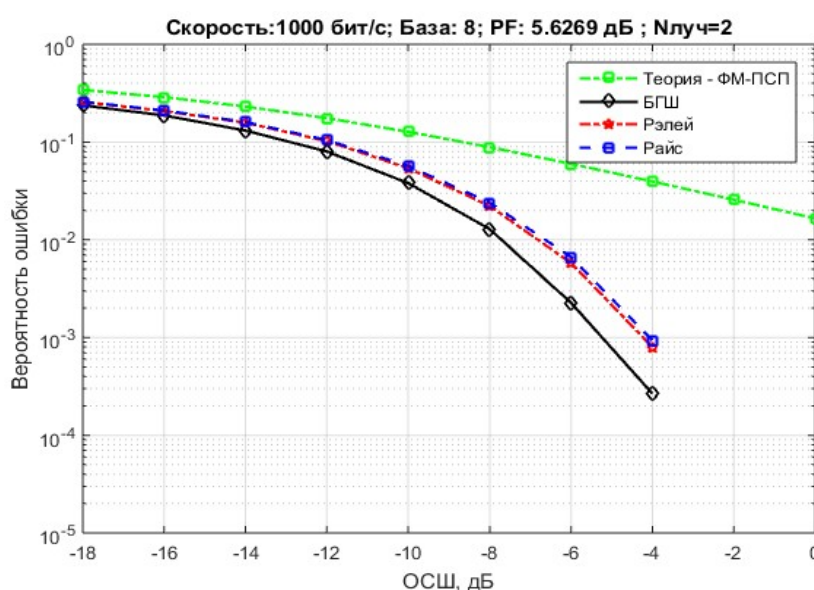


Рис. 10. Вероятность ошибки многочастотного сигнала при двухлучевом его распространении

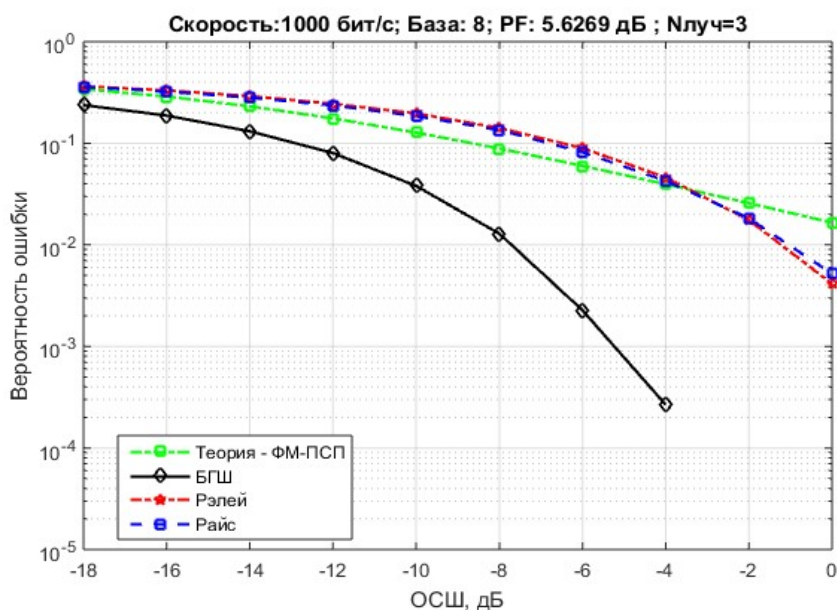


Рис. 11. Вероятность ошибки многочастотного сигнала при трехлучевом его распространении

На рис. 11 приведены графики зависимости вероятности ошибки МЧС от отношения сигнал/шум при трехлучевом распространении радиоволн (задержка между лучами 1.0 и 2.0 мс., уровни лучей в точке приема 0 дБ) и использовании для его формирования и обработки вейвлет-функции *db35*.

Из графиков рис. 11 видно, что помехоустойчивость МЧС в каналах Рэлея и Райса, при двух и трехлучевом его распространении, значительно отличается. Это обусловлено тем, что изменилось количество лучей, приходящих в точку приема, и увеличился интервал многолучевости в радиолинии, а длительность информационного бита осталась неизменной. В результате этого следующий луч (третий), несущий информацию о предыдущем бите, воздействует на принимаемый бит информации и искажает его.

Выводы

1) Использование вейвлет-функций позволяет осуществить формирование ШПС типа МЧС с использованием цифровых методов обработки.

2) Ширина спектра МЧС пропорциональна скорости передачи информации и длине последовательности расширения (базе МЧС).

3) Помехоустойчивость МЧС, в каналах различной физической природы, выше, чем помехоустойчивость сигнала ФМ-ПСП, рассчитанного по формуле (6). Это обусловлено тем, что частоты МЧС меньше искажаются при распространении радиоволн в канале с замираниями, чем фаза сигнала ФМ-ПСП.

4) На качество приема МЧС существенное влияние оказывает количество лучей, пришедших в точку приема и несущих повторяющуюся информацию. Разность же хода лучей, при фиксированном их количестве в точке приема, и скорость передачи информации на вероятность ошибки влияют незначительно.

5) Средства радиоэлектронной разведки на коротких дистанциях от средств радиосвязи, использующим многочастотные сигналы, могут идентифицировать его как используемый для передачи информации. Однако для выделения из сигнала полезной информации необходимо знать структуру последовательности расширения. При большой базе сигнала выделение из сигнала полезной информации будет затруднено. Постановка же заградительной помехи потребует значительных энергетических затрат средств подавления.

6) Для обеспечения разведзащищенности радиолиний, использующих многочастотные сигналы, целесообразно применять направленные антенны для связи на

большие расстояния и осуществлять регулировку мощности средств радиосвязи в реальном масштабе времени.

Литература

1. CDMA TIA/EIA/IS-95 ANSI-J-STD 008 specification.
2. IEEE Standard 802 Part 15.4: Wireless medium access control and physical layer specifications for low-rate WPANs, 26 p.
3. Варакин Л. Е. Системы связи с шумоподобными сигналами // М.: Радио и связь, 1985. С. 384.
4. Шукин А. Н., Солозобов С. А. Формирование спектрально-эффективного OFDM сигнала в базе дискретных вейвлет-функций // Техника средств связи. 2022. № 3 (159). С. 80-89. DOI: 10.24412/2782-2141-2022-3-80-89.
5. Кулешов И. А., Шукин А. Н., Солозобов С. А. Устройство формирования сигнала OFDM // Техника средств связи. 2022. № 4 (160). С. 2-7.
6. Игнатов В. В., Бабков В. Ю. Обоснование основных технических параметров техники радиосвязи. Ленинград. ВАС, 1990. 112 с.

References

1. CDMA TIA/EIA/IS-95 ANSI-J-STD 008 specification.
2. IEEE Standard 802 Part 15.4: Wireless medium access control and physical layer specification for low-rate WPANs, 26 p.
3. Varakin L. E. *Sistemy`svyazi s shumopodobny`mi signalami* [Communication systems with noise-like signals]. Moscow. Radio i svyaz' Publ. 1985. 384 p. (in Russian).
4. Shchukin A.N., Solozobov S.A. Formation of a spectral-efficient OFDM signal in the basis of discrete wavelet functions. Means of Communication Equipment. 2022. No. 3 (159). Pp. 80-89. DOI: 10.24412/2782-2141-2022-3-80-89 (in Russian).
5. Kuleshov I. A., Shchukin A. N., Solozobov S. A. OFDM Signal Generation Device. Means of Communication Equipment. 2022. No. 4 (160). Pp. 2-7. DOI: 10.24412/2782-2141-2022-4-2-7 (in Russian).
6. Ignatov V.V., Babkov V.Yu. *Obosnovanie osnovnykh tekhnicheskikh parametrov tekhniki radiosvyazi* [Justification of the main technical parameters of radio communication technology]. VAS, St. Petersburg. 1990. Pp. 112. (in Russian).

Статья поступила 03 марта 2024 г.

Информация об авторах

Шукин 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.

Винокур Михаил Викторович – Генеральный директор ПАО «Интелтех». Область научных интересов: системы связи, навигации и управления специального назначения. Тел.: +7(812)295-50-69. E-mail: VinokurMV@inteltech.ru.

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: KuleshovIA@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, Санкт-Петербург, ул. Кантемировская, д. 8.

Multi-frequency signals for interference-free radio communication lines

A. N. Shchukin, M. V. Vinokur, I. A. Kuleshov, S. A. Solozobov

Annotation. The purpose of the article is to show how the formation and processing of noise-like signals is carried out in the means of noise-proof radio communication lines. A multi-frequency signal obtained using the theory of wavelet transform is used as a noise-like signal. A technique for the formation and processing of a multi-frequency signal in the basis of wavelet functions is presented. The time characteristics of a narrowband signal that is converted into a noise-like multi-frequency signal, the spectra of narrowband and multi-frequency signals at the input of the modulator and its output, the dependence of the peak factor of a multi-frequency signal on the length of a pseudorandom sequence and the type of wavelet functions, the time-frequency distribution of a multi-frequency signal with high resolution in time and frequency are given. The time dependences of the noise-like signal at the output of the modulator, when interpolated using the Fourier transform method, and the signal distorted by the communication channel at the input of the demodulator are also presented. The analysis of the noise immunity of a multi-frequency signal during its propagation in channels with white Gaussian noise, Rice and Rayleigh is carried out. Graphs of the noise immunity of a multi-frequency signal for channels of various physical nature are presented. To generate and process a multi-frequency signal, the Dobshaw wavelet functions were used in the simulation. The graphs characterizing the noise immunity of the signal present the results of the theoretical calculation of the error probability for a phase-manipulated pseudorandom sequence signal using an analytical expression for relatively phase-manipulated signals in channels with variable parameters and obtained by modeling the processes of formation and processing of multi-frequency signals. The results are presented: a technique for the formation and processing of a multi-frequency signal, graphs of narrow-band and multi-frequency signals, as well as noise immunity obtained as a result of simulation modeling of the processes of formation and processing of multi-frequency signals. The analysis of the obtained results is performed. The results of the work can be implemented when creating noise-proof radio communication complexes.

Keywords: error probability, signal-to-noise ratio, peak factor, noise-proof radio communication lines, noise immunity of a multi-frequency signal, spectrum of a multi-frequency signal, formation and processing of a multi-frequency signal.

Information about Authors

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

Vinokur Mikhail Viktorovich – General Director of PJSC "Inteltech". Research interests: communication, navigation and control systems for special purposes. +7(812)295-50-69. E-mail: VinokurMV@inteltech.ru.

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: KuleshovIA@inteltech.ru.

Solozobov Sergey Anatolyevich – Head of the Research Department of PJSC "Inteltech". Candidate of Technical Sciences, Associate Professor. Research interests: radio communication systems. Tel.: +7(812)295-40-54. E-mail: solozobob@inteltech.ru.

Для цитирования: Щукин А. Н., Винокур М. В., Кулешов И. А., Солозобов С. А. Многочастотные сигналы для помехозащищенных линий радиосвязи // Техника средств связи. 2024. № 1 (165). С. 2-12. DOI: 10.24412/2782-2141-2024-1-2-12.

For citation: Shchukin A. N., Vinokur M. V., Kuleshov I. A., Solozobov S. A. Multi-frequency signals for interference-free radio communication lines. Means of Communication Equipment. 2024. No. 1 (165). Pp. 2-12. (in Russian). DOI: 10.24412/2782-2141-2024-1-2-12.

УДК 621.396.7

DOI: 10.24412/2782-2141-2024-1-13-21

Оптимизация параметров информационного сигнала ключевого генератора СДВ диапазона

Баранов А. А., Егоров В. В.

Аннотация. *Цель статьи:* определение зависимости эффективной энергии формируемого сигнала ключевым генератором сверхдлинноволнового диапазона от параметров схемы и системы управления ключевым генератором. **Приведены** электрическая принципиальная схема тиристорного ключевого генератора, эквивалентные схемы замещения, соответствующие состояниям, в которых может находиться генератор при переключении тириستоров. Представлены зависимости амплитудно-частотной характеристики и выходного сигнала напряжения ключевого тиристорного генератора. Для связи с глубокопогруженными объектами обычно используется **диапазон сверхдлинных волн**. С учётом больших расстояний и особенностей распространения радиоволн в этом диапазоне, мощность радиопередающих устройств должна быть достаточно большой. Обычно для этих целей применяются ключевые генераторы, отличающиеся высоким коэффициентом полезного действия. Для передачи сообщений гармонический сигнал модулируется по закону передаваемого сообщения. При прохождении модулированного сигнала через выходные цепи радиопередатчиков сверхдлинных волн возникают переходные процессы, которые приводят к снижению энергии информационного сигнала, что в свою очередь снижает достоверность передачи сообщения. **Показателем эффективности** радиопередачи сверхдлинных волн принято считать вероятность ошибки на символ, однозначно связанный с энергетическим потенциалом радиопередачи. Тогда возникает задача выбора оптимального режима работы ключевого генератора, при котором энергетический показатель сигнала на приёмной стороне достигает максимального значения. **Представлены результаты:** в ходе проведения вычислительного эксперимента установлено, что уменьшение ёмкости нагрузочного контура (параллельного колебательного контура) приводит к увеличению резонансной частоты контура и добротности схемы генератора. При увеличении сопротивления в цепи индуктивности контура снижается добротность и длительность переходного процесса, при этом увеличивается ширина полосы пропускания нагрузочного контура генератора. Результаты работы **могут быть реализованы** при создании макета ключевого генератора диапазона сверхдлинных волн.

Ключевые слова: добротность, ключевой генератор, колебательный контур, коэффициент передачи, уравнения состояния, функция передачи.

Введение

В статье проводится анализ работы тиристорного ключевого трёхячейкового генератора [2], работа которого описывается двумя эквивалентными схемами, соответствующими состояниям, в которых может находиться система при выключении одного ключа и включении другого.

Применение математической модели для анализа режимов работы ключевого генератора позволяет выполнить многовариантный анализ переходных процессов в схеме генератора, который может послужить для сокращения затрат на натурный эксперимент и повысить энергетический показатель радиоканала.

Современные пакеты программного схемотехнического моделирования не дают полного понимания заложенных алгоритмов и не позволяют моделировать процесс переключения системы из одного состояния в другое. Для вычислительного эксперимента применён язык программирования среды Octave версии 7.3.0, который позволяет разрабатывать собственные алгоритмы моделирования ключевого генератора, также позволяет изменять входные параметры моделирования и алгоритм управления работой тиристоров.

1. Тиристорный трёхщелевой ключевой генератор

Для расчёта нелинейной схемы генератора применён метод, при котором производится переход к линейным эквивалентным схемам, каждая из которых соответствует состоянию ключевого генератора. Причем для каждого состояния генератора анализируется линейная электрическая цепь с постоянными параметрами (стационарная электрическая цепь с сосредоточенными параметрами).

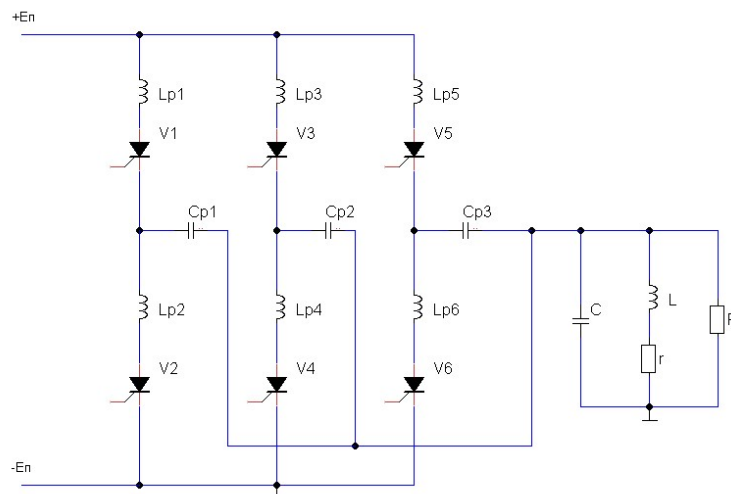


Рис. 1. Принципиальная схема ключевого генератора и его нагрузки

Идеальные ключи $V1-V6$ включаются по следующим двум правилам: после прибора из верхнего (по схеме) ряда запускается прибор из нижнего и наоборот: очередным в ряду включается прибор, номер которого максимально удалён по кольцу от работающего: 1, 6, 3, 2, 5, 4, 1, 6, 3 и т. д. Таким образом процесс функционирования ключевого генератора формализуется системой с переменной структурой [3].

Поскольку длительность импульса тока определяется параметрами реактивных элементов, то при изменениях частоты включения ключевых приборов могут иметь место три различных ситуации, называемые состояниями, в которых может пребывать ключевой генератор:

- 1 – последующий прибор включается до момента выключения предыдущего,
- 2 – последующий прибор включается после выключения предыдущего,
- 3 – последующий прибор включается одновременно с выключением предыдущего.

Эквивалентные электрические схемы, соответствующие описанным ситуациям приведены на (рис. 2).

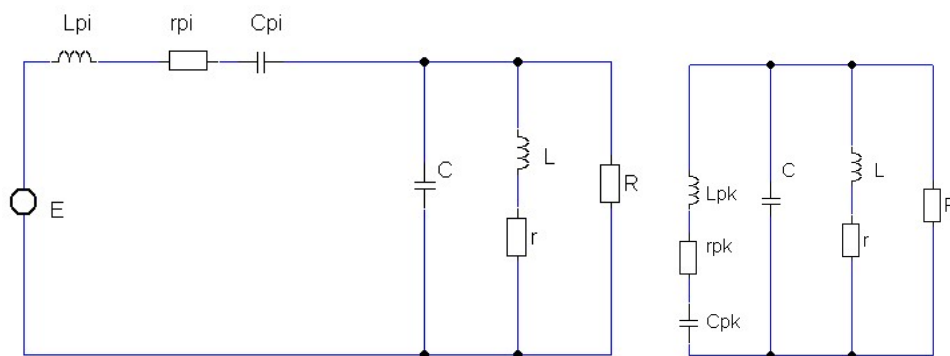


Рис. 2. Эквивалентные схемы для состояний 1 и 2

2. Математическая модель тиристорного трёхщелевого ключевого генератора

Физические процессы, протекающие в линейных радиоэлектронных схемах, в каждом из состояний описываются системой дифференциальных уравнений (СДУ)

$$\begin{aligned}\frac{dX(t)}{dt} &= AX(t) + BF(t), \\ Y(t) &= CX(t) + DF(t),\end{aligned}\quad (1)$$

где $X(t)$ – вектор переменных состояния;
 A – матрица системы размера $n \times n$;
 B – матрица управления размера $n \times m$;
 $F(t)$ – вектор входных воздействий;
 C – матрица выхода системы размера $r \times n$;
 D – матрица входа размера $r \times m$;
 x_0 – вектор начальных условий.

Применение известных численных методов решения систем обыкновенных дифференциальных уравнений – методов Эйлера, методов Рунге-Кутты, методов Ньютона приводит к накоплению систематической ошибки. Для решения системы уравнений (1) был применён метод численного интегрирования СДУ без накопления систематической ошибки, разработанный авторами.

Решение системы (1) может быть представлено формулой Коши

$$X(t) = e^{At} x_0 + \int_0^t e^{A(t-\tau)} F(\tau) d\tau, \quad (2)$$

где e^{At} – матричная экспонента.

Соответствующая дискретная последовательность значений $X(t_n)$, удовлетворяет рекуррентному соотношению

$$X(t_{n+1}) = e^{Ah} X(t_n) + \int_0^h e^{A(t_{n+1}-\tau)} F(\tau) d\tau, \quad n = 0, 1, 2, \dots, \quad (3)$$

где $t_n = nh$, h – шаг интегрирования. С помощью выражения (3) удобно проводить эффективные вычислительные процедуры, когда сигнал $F(t)$ является кусочно-постоянной функцией времени [4].

На практике часто входной сигнал удовлетворяет условию разложимости вида [5]

$$F(t - \tau) = \sum \alpha_k(t) G_k(\tau), \quad (4)$$

где $\alpha_k(t)$ – скалярные, а $G_k(t)$ – векторные функции. Подставив (4) в (3), получим

$$X(t_{n+1}) = e^{Ah} X(t_n) + \sum \alpha_k(t_{n+1}) \int_0^h e^{A(t_{n+1}-\tau)} G_k(\tau) d\tau. \quad (5)$$

Этим условиям удовлетворяют большинство из известных входных воздействий вида: экспоненциальное воздействие, гармоническое воздействие, меандр и т. д.

Рассмотрим примеры входных воздействий, удовлетворяющих условию (4) и широко используемых в радиотехнике.

Экспоненциальное воздействие $F(t) = \{a_i \exp(\lambda t + \psi_i)\}$.

В этом случае $F(t - \tau) = e^{\lambda t} G(\tau)$, где $G(\tau) = \{a_i \exp(-\lambda \tau + \psi_i)\}$, а

$$\int_0^h e^{A\tau} G(\tau) d\tau = (A - \lambda E)^{-1} [e^{Ah} G(h) - G(0)]. \quad (6)$$

Подставив (6) в (5), получим

$$X(t_{n+1}) = e^{Ah} X(t_n) + e^{\lambda t_{n+1}} (A - \lambda E)^{-1} [e^{Ah} G(h) - G(0)].$$

Гармоническое воздействие $F(t) = \{a_i \cos(\omega t + \psi_i)\}$.

Входной сигнал можно представить в виде $F(t - \tau) = \cos(\omega t)G_1(\tau) + \sin(\omega t)G_2(\tau)$, где $G_1(\tau) = \{a_i \cos(\omega\tau + \psi_i)\}$; $G_2(\tau) = \{a_i \sin(\omega\tau + \psi_i)\}$.

Интегрируя дважды (по частям), получаем

$$J_j = \int_0^h e^{At} G_j(\tau) d\tau = (A + \omega^2 A^{-1})^{-1} \left\{ e^{Ah} \left[G_j(h) - A^{-1} \dot{G}_j(h) \right] \right\} - G_j(0) + A^{-1} \dot{G}_j(0); j = 1, 2.$$

При этом (5) принимает вид

$$X(t_{n+1}) = e^{Ah} X(t_n) + \cos(\omega t_{n+1}) J_1 + \sin(\omega t_{n+1}) J_2. \quad (7)$$

Соотношение (7) допускает очевидное обобщение на случай, когда $F(t)$ является конечным отрезком тригонометрического ряда Фурье $F(t) = \sum_{k=0}^M (a_k \cos(k\omega t) + b_k \sin(k\omega t))$.

При этом для вычисления обратных матриц полезно использовать разложения

$$(A + k^2 \omega^2 A^{-1})^{-1} = \begin{cases} A^{-1} \sum_{i=0}^{\infty} (k\omega A^{-1})^{2i}, \\ \|k\omega A^{-1}\| < 1, \\ \frac{A}{(k^2 \omega^2)} \sum_{i=0}^{\infty} (-1)^i \left(\frac{A}{k\omega} \right)^{2i}, \\ \|A\| < k|\omega|. \end{cases} \quad (8)$$

Полученные соотношения позволяют находить переходные процессы линейных систем для достаточно широкого класса входных сигналов.

3. Результаты вычислительного эксперимента, основанного на математической модели тиристорного трёхячейкового ключевого генератора

Проведённый вычислительный эксперимент показал совпадение расчётных зависимостей и результатов натурного эксперимента.

Разработанный метод интегрирования системы линейных дифференциальных уравнений без накопления систематической ошибки для широкого класса входных воздействий позволяет проводить моделирование динамических систем с переменной структурой.

Созданная на этой основе математическая модель ключевого генератора, позволяет исследовать как стационарные режимы работы, так и переходные процессы, возникающие при модуляции гармонического колебания.

Вектор состояния должен сохраняться при переходе схемы из одного состояния в другое. При этом значения вектора состояния в последний момент пребывания в предыдущем состоянии определяет начальные условия для последующего состояния.

Был проведён вычислительный эксперимент, для которого входные параметры были выбраны следующие: $L_p 1 = 1$ мГн; $C_p 1 = 2.1$ мкФ; $r_p 1 = 0.5$ Ом; $C = 0.2$ мкФ; $L = 1.2$ мГн; $R = 500$ кОм; $r = 10$ Ом; $E_p = 100$ В; $T = 1$ мкс; $Q = 9$.

При этом сопротивление r в цепи индуктивности нагрузочного контура (рис. 1) изменялось от 10 Ом до 25 Ом. Минимальное значение 10 Ом соответствует максимальной добротности схемы ключевого генератора и длительности переходного процесса установления выходного напряжения нагрузочного контура, а значение 25 Ом – минимальной добротности схемы ключевого генератора и длительности переходного процесса установления выходного напряжения нагрузочного контура. При увеличении величины сопротивления r увеличивается ширина полосы пропускания ключевого генератора.

В процессе вычислительного эксперимента была получена передаточная функция, на основании которой выбирались частоты для переключения ключей, рис. 3-6.

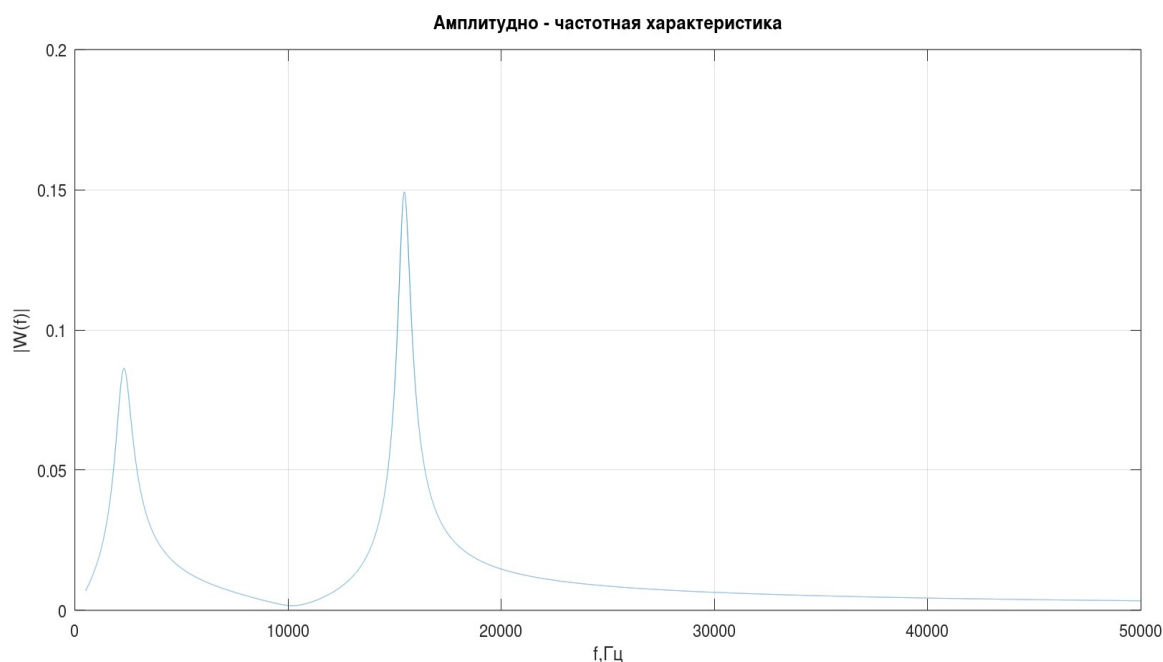


Рис. 3. Амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) эквивалентной схемы 1 при $r=10$ Ом

Из графика АЧХ (рис. 3) видно, что резонансная частота равна 15,437 кГц и соответствует максимальному значению амплитудно-частотной характеристики. Ширина полосы пропускания составляет 639 Гц.

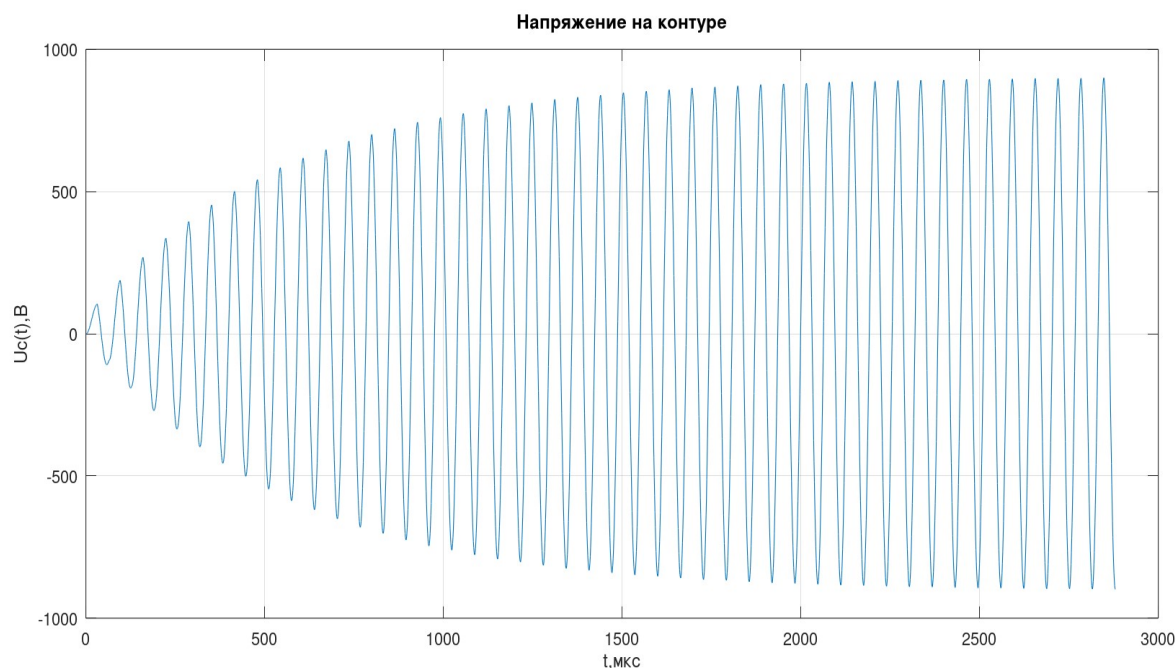
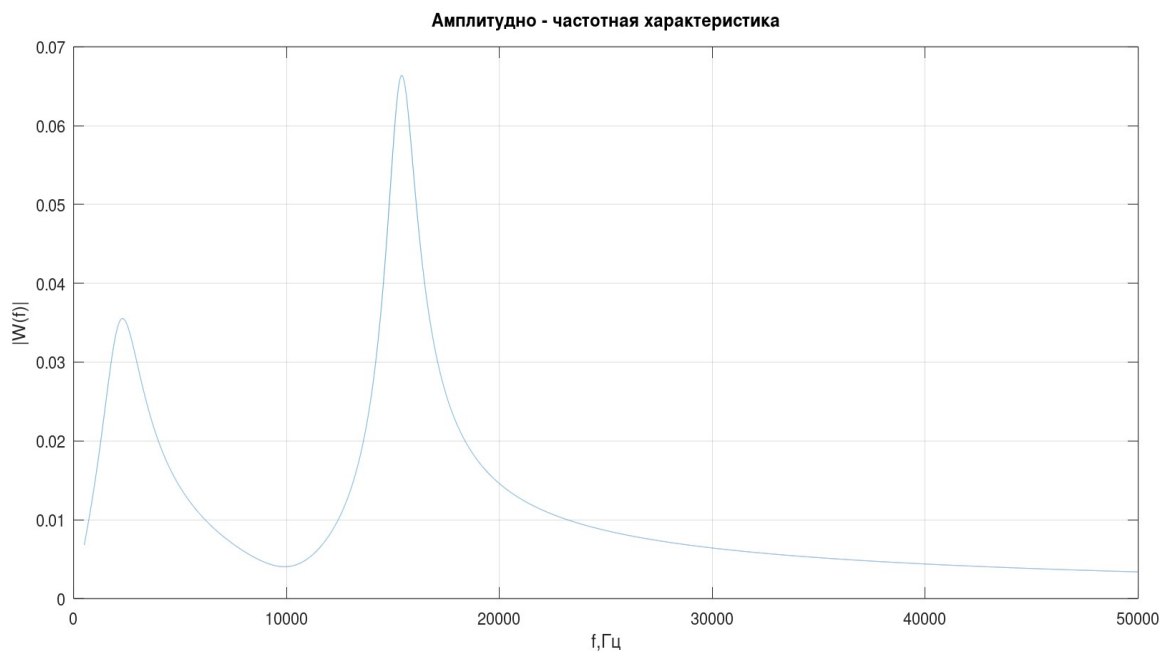
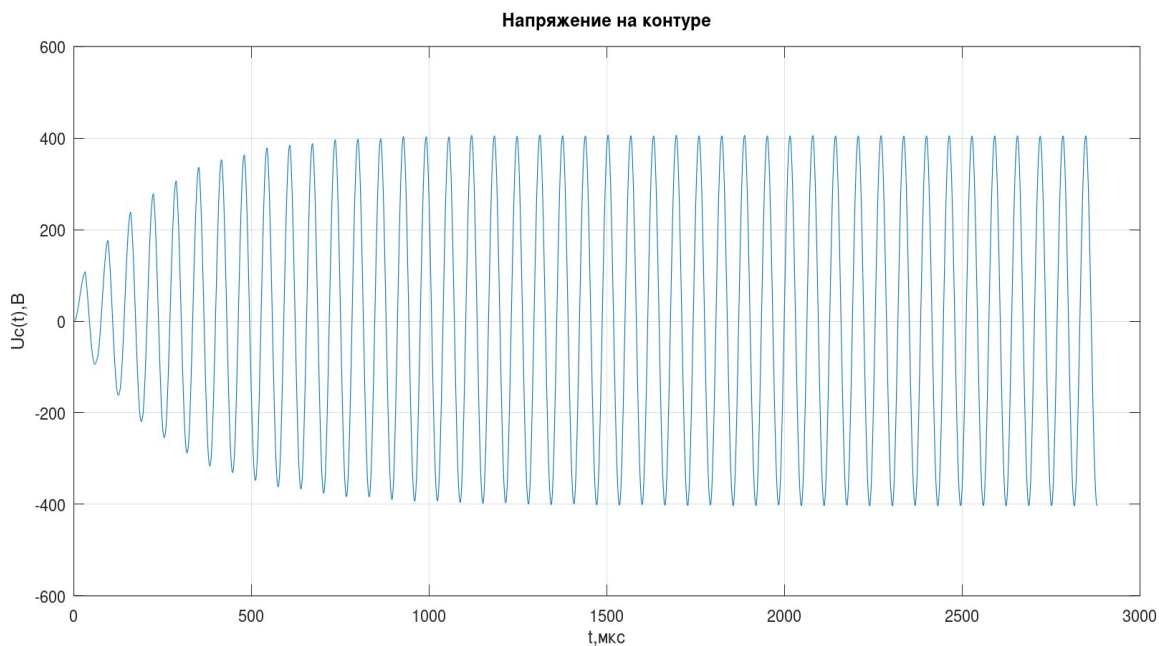


Рис. 4. Напряжение на выходе колебательного контура (на ёмкости C)

Длительность элементарного символа 2880 мкс соответствует скорости передачи информации 344 бит/с, рис. 4.

По графику АЧХ (рис. 5) видно, что резонансная частота равна 15,437 кГц и соответствует максимальному значению амплитудно-частотной характеристики. Добротность схемы ключевого генератора равна $Q=4$. Ширина полосы пропускания составляет 1881 Гц.

Рис. 5. Амплитудно-частотная характеристика эквивалентной схемы 1 при $r=25$ ОмРис. 6. Напряжение на выходе колебательного контура (на ёмкости C)

4. Оптимизация выходного сигнала тиристорного трёхячейкового ключевого генератора

При изменении величины сопротивления r от 10 Ом до 25 Ом получена зависимость эффективной энергии выходного сигнала тиристорного ключевого генератора от амплитуды выходного напряжения и сопротивления r .

$$\left(\int_0^{T_c} U_c(t) \sin(\omega t) dt \right)^2 + \left(\int_0^{T_c} U_c(t) \cos(\omega t) dt \right)^2 = I \quad (9)$$

где T_c – длительность сигнала $U_c(t)$.

Выражение (9) показатель, характеризующий эффективную энергию сигнала в функции от амплитуды выходного сигнала генератора и представлен на рис. 7, а в функции от сопротивления r представлен на рис. 8.

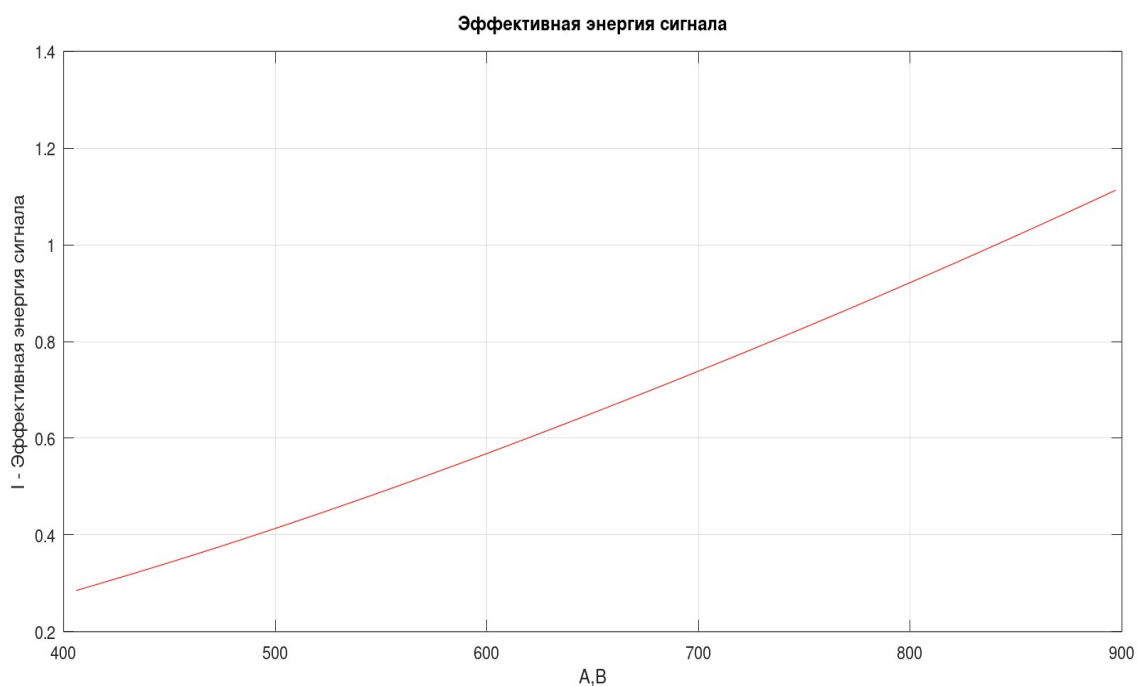


Рис. 7. Показатель, характеризующий эффективную энергию выходного сигнала в функции от амплитуды сигнала A

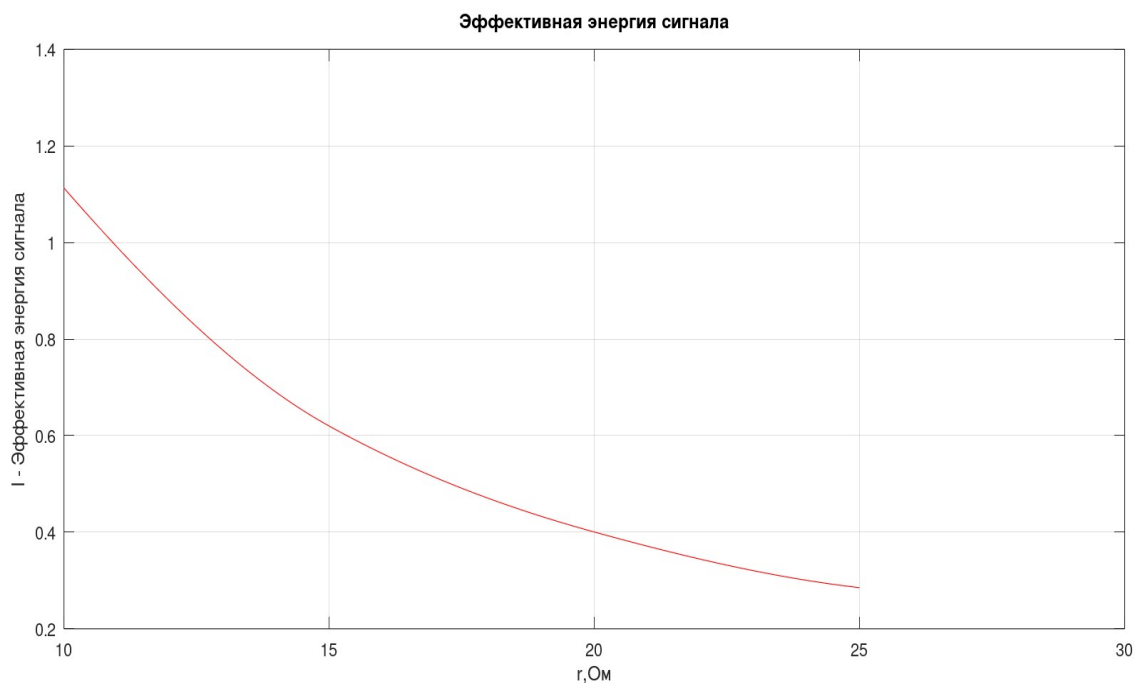


Рис. 8. Показатель, характеризующий эффективную энергию выходного сигнала в функции от сопротивления r

Из графика мы видим увеличение показателя, характеризующего эффективную энергию сигнала.

Выводы

1) В результате проведения вычислительного эксперимента было установлено, что уменьшение ёмкости C приводит к увеличению частоты выходного сигнала нагрузочного контура и добротности схемы генератора. Диапазон уменьшения ёмкости C от 0,2 мкФ до 0,04 мкФ (соответствует максимальной добротности).

2) При установлении частоты выходного сигнала, соответствующей резонансному максимуму амплитудно-частотной характеристики, удаётся получить высокую добротность и длительность переходного процесса. При увеличении сопротивления r , снижается добротность и длительность переходного процесса. Для систем передачи данных очень важно, чтобы длительность переходного процесса была как можно меньше, эффективная энергия сигнала была максимальная.

3) Показатель, характеризующий эффективную энергию сигнала, монотонно возрастает при увеличении амплитуды сигнала от 400 В до 900 В.

Литература

1. Катанович А. А., Берестов С. Н., Цыванюк В. А. Принципы построения береговых систем и комплексов связи Военно-морского флота. С-Пб.: Военно-морская академия, 2001. 406 с.
2. Бальянс Р. Х., Сиверс М. А. Тиристорные генераторы и инверторы. – Л.: Энергоиздат. Ленингр. отд-ние, 1982. – 223 с.
3. Алексеев О. А., Бунтов С. М., Егоров В. В., Наумочкин В. Ф. Анализ переходных процессов в цепях ключевого генератора с использованием его математической модели // Техника средств связи. 1981. № 5. С. 3-11.
4. Сборник докладов «Молодёжная научно-просветительская конференция, приуроченная к празднованию дня российской науки» 2023. № 1. С. 10-11.
5. Алексеев О. А., Егоров В. В. Численное решение системы уравнений переменных состояния для одного класса входных воздействий // Электронное моделирование. 1986. № 3. С. 85-86.

References

1. Katanovich A. A., Berestov S. N., Tsyvanyuk V. A. *Principy` postroeniya beregovy`x sistem i kompleksov svyazi VoЕННО-morskogo flota* [Principles of construction of coastal systems and communication complexes of the Navy]. St. Petersburg. Military and Maritime Academy Publ., 2001. 406 p. (in Russian).
2. Balyan R. H., Sievers M. A. *Tiristorny`e generatory` i invertory`* [Thyristor generators and inverters]. Leningrad. Energoizdat. Leningr. publishing House, 1982. 223 p. (in Russian).
3. Alekseev O. A., Buntov S. M., Egorov V. V., Naumochkin V. F. *Analiz perexodny`x processov v cepyax klyuchevogo generatora s ispol`zovaniem ego matematicheskoy modeli* [Analysis of transients in the circuits of a key generator using its mathematical mode l]. Means of Communication equipment. 1981. No. 5. Pp. 3-11. (in Russian).
4. *Sbornik dokladov "Molodyozhnaya nauchno-prosvetitel`skaya konferenciya, priurochennaya k prazdnovaniyu dnya rossijskoj nauki"* [Collection of reports "Youth scientific and educational conference dedicated to the celebration of the Day of Russian Science"]. 2023. No. 1. Pp.10-11. (in Russian).
5. Alekseev O. A., Egorov V. V. *Chislennoe reshenie sistemy` uravnenij peremenny`x sostoyaniya dlya odnogo klassa vxodny`x vozdejstvij* [Numerical solution of a system of equations of state variables for one class of input effects]. *E`lektronnoe modelirovanie* [Electronic modeling]. 1986. No. 3. Pp. 85-86. (in Russian).

Статья поступила 17 января 2024 г.

Информация об авторах

Баранов Артём Александрович – инженер 2 категории. АО «РИМР». Аспирант АО «РИМР». Область научных интересов: системы связи, устройства генерирования и формирования радиосигналов. Тел.: +7(911)217-49-00. E-mail: artiom.baranov2015@yandex.ru. Адрес: 199178, г. Санкт-Петербург, линия 11-я Васильевского острова, д. 99, лит. А.

Егоров Владимир Викторович – главный научный сотрудник. АО «РИМР». Доктор технических наук, старший научный сотрудник. Область научных интересов: системы связи. Тел.: 8 (812)328-45-50 доб. 807.

Optimization of the parameters of the information signal of the key shift range generator

A. A. Baranov V. V. Egorov

Annotation. *The purpose of the article is to determine the dependence of the effective energy of the generated signal by a key generator of the ultra-long wavelength range on the parameters of the circuit and control system of the key generator. An electrical schematic diagram of a thyristor key generator, equivalent substitution circuits corresponding to the states in which the generator can be located when switching thyristors are presented. The dependences of the amplitude-frequency response and the output voltage signal of a key thyristor generator are presented. A range of ultra-long waves is usually used to communicate with deep-submerged objects. Taking into account the long distances and the peculiarities of the propagation of radio waves in this range, the power of radio transmitting devices should be large enough. Usually, key generators with high efficiency are used for these purposes. To transmit messages, the harmonic signal is modulated according to the law of the transmitted message. When a modulated signal passes through the output circuits of ultra-long wave radio transmitters, transients occur that lead to a decrease in the energy of the information signal, which in turn reduces the reliability of message transmission. An indicator of the effectiveness of an ultra-long wave radio line is considered to be the probability of error per symbol, which is uniquely associated with the energy potential of the radio line. Then the problem arises of choosing the optimal mode of operation of the key generator, in which the energy index of the signal on the receiving side reaches its maximum value. The results are presented: during the computational experiment, it was found that a decrease in the capacity of the load circuit (parallel oscillatory circuit) leads to an increase in the resonant frequency of the circuit and the quality factor of the generator circuit. As the resistance in the circuit inductance increases, the quality factor and duration of the transient process decrease, while the bandwidth of the load circuit of the generator increases. The results of the work can be implemented when creating a layout of the key generator of the ultra-long wave range.*

Keywords: *Q-factor, key generator, oscillatory circuit, equations of state, transmission function, transmission coefficient.*

Information about Authors

Baranov Artem Alexandrovich – engineer of the 2nd category of RIMR JSC. Postgraduate student of RIMR JSC. Research interests: communication systems, devices for generating and generating radio signals. Tel.: +7(911)217-49-00 E-mail: artiom.baranov2015@yandex.ru

Egorov Vladimir Viktorovich – chief researcher at RIMR JSC. Doctor of Technical Sciences. Associate Professor. Area of scientific interests: communication systems. Tel.: 8 (812)328-45-50 dob. 807
Address: 199178, St. Petersburg, line 11 of Vasilevsky Island, 99, lit. A.

Для цитирования: Баранов А. А., Егоров В. В. Оптимизация параметров информационного сигнала ключевого генератора СДВ диапазона // Техника средств связи. 2024. № 1 (165). С. 13-21. DOI: 10.24412/2782-2141-2024-1-13-21.

For citation: Baranov A. A. Egorov V. V., Optimization of the parameters of the information signal of the key shift range generator. Means of Communication Equipment. 2024. No. 1 (165). Pp. 13-21. (in Russian). DOI: 10.24412/2782-2141-2024-1-13-21.

Влияния глубины буксировки выпускной приемной антенны на качество приема

Акулов В. С., Угрик Л. Н., Жебрун А. М.

Аннотация: В статье рассмотрены вопросы влияния глубины буксировки выпускной приемной антенны на качество приема в сверхдлинноволновом диапазоне. Исследованы подходы, при которых в зависимости от режима буксировки часть антенны может оказаться на поверхности воды. Дан ответ на вопрос: имеет ли такое расположение антенны преимущество с точки зрения качества приема. Рассмотрены два предельных случая с получением математических выражений: когда антенна буксируется под некоторым углом, а ее ходовой конец находится на границе раздела двух сред; когда вся активная часть антенны расположена на поверхности. Доказано, что расположение всей активной части антенны на поверхности воды дает увеличение отношения сигнал/шум не более, чем на один процент по сравнению с полностью погруженной антенной. Данный полученный в исследовании результат приведен исходя из того, что ввиду экспоненциального затухания поля напряжение сигнала и внешнего атмосферного шума формируется на сравнительно небольшом участке кабеля, примыкающего к ходовому концу, где затухание еще сравнительно невелико. Приведенные в статье эффекты применимы для обеспечения связи с глубоководными подводными объектами.

Ключевые слова: атмосферные шумы, выпускная кабельная антенна, сверхдлинные волны, эквивалентное поле шумов антенны.

Для подводного радиоприема обычно применяют выпускную кабельную антенну, обеспечивающую возможность расположения объекта на достаточной глубине [1]. В реальных условиях в зависимости от режима буксировки часть антенны может оказаться на поверхности воды. Поэтому естественным является вопрос: имеет ли такое расположение антенны преимущество с точки зрения качества приема в диапазоне сверхдлинных волн.

Для анализа такой ситуации составим отношение сигнал/шум в точке приема

$$h^2(h_e) = \frac{E_s^2}{[E_{at1}^2 + E_{a1}^2(h_e)]\Delta f}, \quad (1)$$

где E_s – модуль напряженности поля сигнала;

E_{at1} – напряженность поля внешних атмосферных помех в точке приема, отнесенная к полосе 1 Гц;

Δf – эффективная (шумовая) полоса частот приемного устройства;

E_{a1} – напряженность эквивалентного поля шумов приемной антенны, отнесенная к полосе 1 Гц;

Поле E_{a1} определяется напряжением шумов U_{a1} , а, фактически, чувствительностью выносного антенного усилителя, через действующую (эффективную) высоту антенны h_e :

$$E_{a1} = U_{a1}/h_e. \quad (2)$$

В рассматриваемом диапазоне частот при анализе энергетики радиотехнических систем обычно оперируют с вертикальными компонентами полей сигнала и шумов над границей раздела сред. Поэтому под действующей высотой здесь понимается высота, приведенная именно к этой компоненте. Эта высота определяется привычной эффективной длиной l_e , относительно горизонтальной компоненты поля [2] и приведенным поверхностным импедансом δ [3]

$$h_e = \delta l_e. \quad (3)$$

Рассмотрим два предельных случая.

В первом случае будем считать, что антенна буксируется под некоторым углом θ , а ее ходовой конец находится на границе раздела. Отношение сигнал/шум $h^2(h_e)$ определяется выражением (1) при соответствующем значении h_e .

Вторая ситуация будет относиться к расположению всей активной части антенны на поверхности. Здесь действующая высота h_{e0} максимальна, поскольку действующая длина антенны равна ее геометрической длине, и отношение сигнал/шум в этом случае определится формулой

$$h^2(h_{e0}) = \frac{E_s^2}{[E_{at1}^2 + E_{al}^2(h_{e0})] \Delta f}. \quad (4)$$

Для анализа влияния глубины нахождения антенны удобно рассмотреть отношение, в котором отсутствуют поле сигнала и полоса приема

$$\delta h^2 = \frac{h^2(h_e)}{h^2(h_{e0})} = \frac{[E_{at1}^2 + E_{al}^2(h_{e0})]}{[E_{at1}^2 + E_{al}^2(h_e)]} = \frac{1 + q_{10}^2}{1 + q_1^2}, \quad (5)$$

где введены обозначения

$$q_{10} = \frac{E_{al0}}{E_{at1}}; \quad q_1 = \frac{E_{al}}{E_{at1}}. \quad (6)$$

Параметр δh^2 определяет ухудшение качества приема при заглублении активной части антенны.

На практике эквивалентное поле шумов антенны существенно ниже уровня атмосферных шумов над границей раздела сред, что будет показано ниже. Поэтому $q_1^2 \ll 1$ и $q_{10}^2 \ll 1$, что позволяет выполнить разложение в ряд Тейлора выражение (5) относительно этих параметров. Удерживая члены только низшего порядка малости, получим следующее выражение

$$\delta h^2 = 1 - \Delta(\delta h^2), \quad (7)$$

где

$$\Delta(\delta h^2) = q_1^2 \left(1 - \frac{h_e^2}{h_{e0}^2} \right). \quad (8)$$

При расположении всей антенны на поверхности действующая высота максимальна, поэтому $h_e < h_{e0}$, $\Delta(\delta h^2) > 0$ и $\delta h^2 < 1$. Отношение сигнал/шум при погружении антенны уменьшается, что является естественным. Степень же этого уменьшения определяется параметром q_1 , являющимся отношением собственных шумов антенны и атмосферных шумов над поверхностью раздела (6).

Выполним оценку максимально возможных значений вариаций отношения сигнал/шум δh^2 для частоты 20 кГц.

Чувствительность современных выносных антенных усилителей в диапазоне сверхдлинных волн оценивается как $U_{al} \approx 3 \text{ нВ}/\sqrt{\text{Гц}}$. При угле буксировки $\theta = 5^\circ$ действующая высота полностью погруженной антенны, рассчитанная по методике, изложенной в монографии [2] и с учетом формулы (3), $h_e = 7,2 \text{ мм}$. В соответствии с формулой (2) эквивалентное поле шумов антенны $E_{al} \approx 0,42 \text{ мВ}/\text{м}\sqrt{\text{Гц}}$.

Атмосферные шумы оцениваются по рекомендациям МСЭ [4]. На рис. приводятся суточный и сезонный ход медианных значений (вероятность $p = 0,5$) уровня этих шумов, отнесенных к полосе 1 Гц, для Баренцева моря.

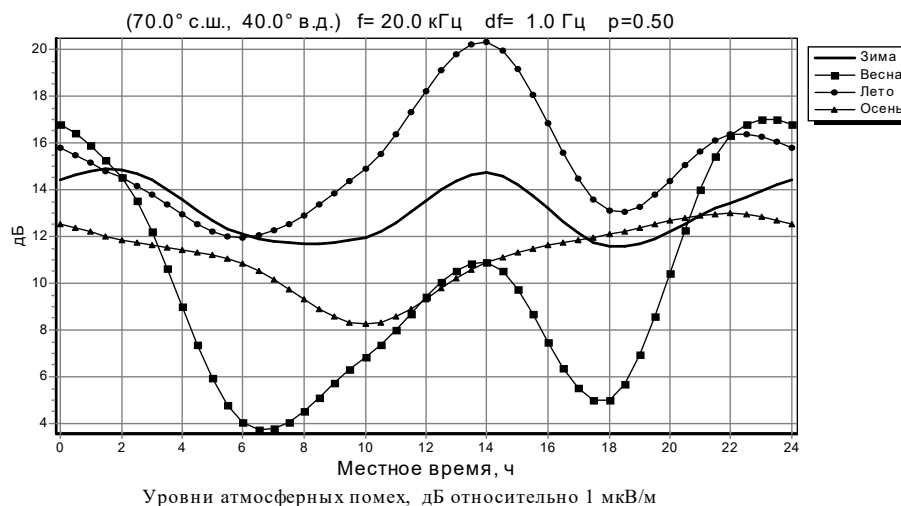


Рис. Величины суточного и сезонного хода медианных значений уровня атмосферных шумов [4]

Для других районов такие данные могут заметно отличаться, однако экстремальные значения уровня шума примерно такие же. Нас интересуют минимальные значения шума E_{at1} , определяющие максимально возможные значения параметров q_1 и, соответственно, $\Delta(\delta h^2)$. Из рис. следует, что $\min E_{at1} \approx 4 \text{ дБ} \approx 1,6 \text{ мкВ/м} \sqrt{\text{Гц}}$. Далее из формулы (6) следует, что при этом $\max q_1^2 \approx 0,07$, а $\Delta(\delta h^2) < 0,07$, поскольку множитель в скобках формулы (8) меньше единицы. Введенный в рассмотрение по формуле (5) параметр $\delta h^2 \approx 1$.

Таким образом, расположение всей активной части антенны на поверхности воды дает увеличение отношения сигнал/шум не более, чем на 1 % по сравнению с полностью погруженной антенной. Такой результат не следует считать неожиданным, поскольку ввиду экспоненциального затухания поля напряжение сигнала и внешнего атмосферного шума формируется на сравнительно небольшом участке кабеля, примыкающего к ходовому концу, где затухание еще сравнительно невелико.

Литература

1. Соловьев В. И., Новик Л. И., Морозов И. Д. Связь на море. Судостроение. Л.: 1978.
2. Додонов А. В., Михеев А. Ф. Подводный радиоприем. М.: Воениздат, 1996.
3. Макаров Г. И., Новиков В. В., Рыбачек С. Т. Распространение электромагнитных волн над земной поверхностью. М.: Наука, 1991.
4. Рекомендации МСЭ-R. P.372.13 (09/2016). Радишум.

References

1. Solovyov V. I., Novik L. I., Morozov I. D. *Svyaz` na more* [Communication at sea]. *Sudostroenie Shipbuilding Publ.*, Leningrad. 1978. (in Russian).
2. Dodonov A. V., Mikheev A. F. *Podvodny`j radiopriem* [Underwater radio reception]. Moscow. Voenizdat Publ., 1996. (in Russian).
3. Makarov G. I., Novikov V. V., Rybachek S. T. *Rasprostraneniye e`lektromagnitny`x voln nad zemnoy poverkhnost`yu* [Propagation of electromagnetic waves over the Earth's surface]. Moscow. Nauka Publ., 1991. (in Russian).
4. ITU-R recommendations. P.372.13 (09/2016). *Radioshum* [Radio noise]. (in Russian).

Статья поступила 04 февраля 2024 г.

Информация об авторах

Акулов Валерий Семёнович – Кандидат технических наук. Старший научный сотрудник. Старший научный сотрудник научно-исследовательского центра

телекоммуникационных технологий ВМФ, корабельных комплексов и средств обмена информацией и разведки (НИЦ ТТ ВМФ КК СОИ Р) НИИ ОСИС ВМФ ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия». Область научных интересов: повышение эффективности обеспечения радиосвязи с морскими объектами. Тел.: +7(812)5429054.

Угрик Лариса Николаевна – Кандидат технических наук. Старший научный сотрудник. Старший научный сотрудник НИЦ ТТ ВМФ КК СОИ Р НИИ ОСИС ВМФ ВУНЦ ВМФ "Военно-морская академия". Область научных интересов: повышение эффективности обеспечения радиосвязи с морскими объектами. Тел.: +7(812)5429054.

Жебрун Антон Михайлович – Заместитель директора научно-технического центра по научной работе. Публичное акционерное общество «Информационные телекоммуникационные технологии» (ПАО «Интелтех»). Область научных интересов: разработка систем телекоммуникаций специального назначения. Тел.: +7(812)4489658. E-mail: intelteh@inteltech.ru.

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

The influence of the towing depth of the exhaust receiving antenna on the reception quality

V. S. Akulov, L. N. Ugrik, A. M. Zhebrun

Annotation: *The article discusses the influence of the towing depth of the exhaust receiving antenna on the reception quality in the ultra-longwave range. Approaches have been investigated in which, depending on the towing mode, part of the antenna may end up on the water surface. The answer to the question is given: does such an antenna arrangement have an advantage in terms of reception quality. Two limiting cases with obtaining mathematical expressions are considered: when the antenna is towed at a certain angle, and its running end is located at the interface between two media; when the entire active part of the antenna is located on the surface. It has been proven that the location of the entire active part of the antenna on the surface of the water gives an increase in the signal-to-noise ratio by no more than one percent compared to a fully submerged antenna. This result obtained in the study is based on the fact that due to the exponential attenuation of the field, the signal voltage and external atmospheric noise are formed on a relatively small section of cable adjacent to the running end, where attenuation is still relatively small. The effects described in the article are applicable to provide communication with deep-submerged underwater objects.*

Keywords: *atmospheric noise, exhaust cable antenna, ultra-long waves, equivalent antenna noise field.*

Information about Authors

Akulov Valery Semenovich – Candidate of Technical Sciences. Senior Researcher at the Research. The Scientific Research Center for Telecommunications Technologies of the Navy, Ship Complexes and means of information Exchange and Intelligence of the Scientific Research Institute of the OSIS of the Navy VUNTS of the Navy "Naval Academy" Tel.: +7 (812)5429054.

Ugrik Larisa Nikolaevna – Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher at the Research. The Scientific Research Center for Telecommunications Technologies of the Navy, Ship Complexes and means of information Exchange and Intelligence of the Scientific Research Institute of the OSIS of the Navy VUNTS of the Navy "Naval Academy" Tel.: +7(812)54290-4.

Zhebrun Anton Mikhailovich – Deputy Director of the Scientific and Technical Center for Scientific Work. Public Joint Stock Company "Information Telecommunication Technologies" (PJSC "Inteltech"). Research interests: development of special purpose telecommunications systems. Tel.: +7(812)4489658. E-mail: intelteh@inteltech.ru. Address: 197342, Russia, St. Petersburg, Kantemirovskaya St. 8

Для цитирования: Акулов В. С., Угрик Л. Н., Жебрун А. М. Влияния глубины буксировки выпускной приемной антенны на качество приема // Техника средств связи. 2024. № 1 (165). С. 22-25. DOI: 10.24412/2782-2141-2024-1-22-25.

For citation: Akulov V. S., Ugrik L. N., Zhebrun A. M. The influence of the towing depth of the exhaust receiving antenna on the reception quality Means of Communication Equipment. 2024. No. 1 (165). Pp. 22-25. (in Russian). DOI: 10.24412/2782-2141-2024-1-22-25.

СИСТЕМЫ СВЯЗИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ

УДК 621.396

DOI: 10.24412/2782-2141-2024-1-26-38

Оценка электромагнитной совместимости корабельной станции спутниковой связи Ки диапазона в условиях взаимных помех от СВ-КВ радиопередающих устройств

Ильмер Д. В., Шаповалов Ф. А., Помазунов С. А., Исламов А. И.

Аннотация: ***Введение:** В современных условиях оснащение кораблей и судов, особенно специального назначения, большим количеством радиоэлектронных средств для обеспечения навигации, радиосвязи, безопасности мореплавания, работы специальной аппаратуры и вооружения, приёма информационно-развлекательного контента и других приводит к невозможности рационального размещения всех антенных устройств с учётом требований электромагнитной совместимости. Соответственно, актуальным является прогнозирование воздействия тех или иных излучающих систем, особенно большой мощности, на приёмные устройства при различном взаимном расположении антенн. Особый интерес вызывают антенные системы спутниковой связи, которые нельзя располагать в секторах излучения радиолокационных станций и очень сложно поднять выше из-за массогабаритных характеристик. При этом их невозможно расположить очень низко из-за образования теневых секторов надстройками, мачтами и другими антеннами в направлении на космические аппараты, что приводит к решению очень сложной задачи по их рациональному размещению на кораблях и судах. **Целью работы** является количественный анализ воздействия излучений Г-образной проволочной антенны диапазона средних волн – коротких волн на работу корабельной спутниковой станции связи Ки диапазона. **Результат:** заключается в количественном определении степени воздействия излучений Г-образной проволочной антенны диапазона средних волн – коротких волн на приёмный тракт спутниковой станции связи Ки диапазона с учётом эффективной излучённой мощности и взаимного расположения антенн. **Практическая значимость:** выполненные результаты расчёта позволяют выработать рекомендации по взаимному размещению антенн на судах и кораблях с учётом выполнения требований по электромагнитной совместимости.*

Ключевые слова: антенна, взаимное расположение антенн, коэффициент усиления, побочный канал, промежуточная частота, помехоустойчивость, радиопередатчик, радиоприёмник, напряженность электромагнитного поля, непреднамеренные помехи, спутниковая связь, чувствительность, электромагнитная совместимость, эффективная излучённая мощность.

Введение

В современных условиях оснащение кораблей и судов, особенно специального назначения, большим количеством радиоэлектронных средств для обеспечения навигации, радиосвязи, безопасности мореплавания, работы специальной аппаратуры и вооружения, приёма информационно-развлекательного контента и других приводит к невозможности рационального размещения всех антенных устройств с учётом требований электромагнитной совместимости (ЭМС). Соответственно, актуальным является прогнозирование воздействия тех или иных излучающих систем, особенно большой мощности, на приёмные устройства при различном взаимном расположении антенн. Особый интерес вызывают антенные системы спутниковой связи, которые нельзя располагать в секторах излучения радиолокационных станций и очень сложно поднять выше из-за массогабаритных характеристик. При этом на малотоннажных кораблях и судах часто устанавливают однопостовые станции спутниковой связи, что приводит к невозможности их расположения, как на больших кораблях побортно. Поэтому на таких кораблях их нельзя располагать очень низко из-за образования теневых секторов надстройками, мачтами и другими антеннами в

направлении на космические аппараты. Кроме того, существуют корабли специального назначения с одной большой открытой палубой и одной небольшой надстройкой, типа авиа- и вертолётоносцев, где большинство антенн различного назначения оказываются размещены почти на одном горизонтальном уровне. Такая ситуация складывается на одном из новых проектов кораблей, где между антенной спутниковой приёмной телевизионной системы Ку диапазона и проволочной Г-образной антенной диапазона средних волн – коротких волн (СВ-КВ) расстояние составляет 10 м. Поэтому стоит задача количественно оценить воздействие сигналов СВ-КВ диапазона, излучаемых этой антенной на работу спутниковой приёмной системы.

Метод оценки помехозащищённости приёмника спутниковой системы Ку диапазона от сигналов, излучаемых передатчиками СВ-КВ диапазонов на Г-образную проволочную антенну

Один из методов вычисления степени воздействия помех создаваемых излучением сигналов СВ-КВ корабельных передатчиков на приёмник спутниковой станции связи описан в [1]. В данном документе критерием для определения того, в какой степени излучения сигналов СВ-КВ корабельных передатчиков могут затрагивать работу корабельной спутниковой станции связи, является порог чувствительности приемника станции. Порог чувствительности принимается соответствующим уровню чувствительности приемника, рассчитанному для соответствующих частот f_{SR} , на которых возможно создание побочных каналов приема. Вычисление частот побочных каналов f_{SR} может быть описано следующим выражением [1, 2]:

$$f_{SR} = \frac{pf_{LO} \pm f_{IF}}{q} \pm \frac{B_R}{2q}, \quad (1)$$

где: f_{LO} – частота гетеродина (МГц);
 f_{IF} – промежуточная частота (МГц);
 B_R – ширина полосы, дБ, на промежуточной частоте (МГц);
 p, q – номер гармоник гетеродина и сигнала помехи, соответственно ($p, q = 0, 1, 2, \dots$ и т. д.).
Порог чувствительности приемника по побочному каналу на входе приемника, $P_R(f_{SR})$, может быть описан следующим образом [1]:

$$P_R(f_{SR}) = P_R(f_{OR}) + I \log \frac{f_{SR}}{f_{OR}} + J, \quad (2)$$

где: $P_R(f_{OR})$ – основная чувствительность приемника (дБм);
 f_{OR} – основная частота приемника (МГц);
 I, J – постоянные для характеристики подавления в отсутствие настройки (дБ/декада и дБ, соответственно).

Мощность сигнала помехи, создаваемой излучениями СВ-КВ передатчиков на входе приемника спутниковой станции связи $P_1(f_{SR})$, определяется для основных гармоник передатчика согласно следующему уравнению:

$$P_1(f_{SR}) = P_T(f_{OT}) + A \log n + B - L_n, \quad (3)$$

где: $P_T(f_{OT})$ – эффективная излучаемая мощность (дБм);
 n – номер гармоники частоты передатчика (f_{OT}) относительно частоты побочного канала приемника (f_{SR}), $n = f_{SR} / f_{OT}$;
 A, B – постоянные для характеристики уровней гармонических излучений передатчика (дБ/декада и дБ, соответственно);

L_n – потери (дБ), включая воздействие распространения между антеннами, их взаимное расположение, потери в фидерных линиях от приёмника и передатчика до антенн.

Эффективная излучаемая мощность $P_T(f_{OT})$ определяется формулой:

$$P_T(f_{OT}) = P_{прд} + G_a, \quad (4)$$

где: $P_{\text{прд}}$ – мощность передатчика, подводимая к антенне (дБм);
 G_a – коэффициент усиления передающей антенны.
 Более точно $L_{\text{п}}$ можно описать следующим образом [1]:

$$L_{\text{п}} = l_{\text{ф прд}} + 20 \log \frac{\lambda}{4\pi r} + \beta + \gamma + 10 \log G(\theta, \varphi, \lambda) + l_{\text{ф прм}} \quad (5)$$

где: $l_{\text{ф прд}}$ – потери в фидерной линии антенны передатчика (дБ);
 λ – длина волны (для соответствующей гармоники) (м);
 r – расстояние между антенной телевизионной станции и антенной СВ-КВ передатчиков (м);
 $G(\theta, \varphi, \lambda)$ – усиление антенны приемника спутниковой станции относительно азимута, θ , и угла места, φ ;
 $l_{\text{ф прм}}$ – потери в фидерной линии приемника (дБ);
 β, γ – потери на рассогласование по поляризации и от физических препятствий (дБ).
 Коэффициент усиления антенны приемника телевизионной станции рассчитывается по формуле:

$$G = 10 \lg(k(\pi D / \lambda)^2 \cos(\phi)), \quad (6)$$

где: k – эффективность или коэффициент использования поверхности антенны;
 D – диаметр антенны (м);
 λ – длина волны (м);
 ϕ – угол прихода волны (гр).

Исходные данные для расчётов

Примем для расчётов помехозащищённости характеристики приёмной спутниковой телевизионной судовой станции, поскольку частоты и другие характеристики таких станций общедоступны, в отличие от станций спутниковой связи.

Диапазон рабочих частот таких станций обычно составляет [3] 10700 – 12750 МГц. Этот диапазон обычно делится на верхний и нижний. Произведём расчёт для нижнего диапазона, так как он ближе к СВ-КВ диапазону и ожидаемое воздействие от СВ-КВ помех должно быть в нижнем диапазоне больше.

Приведём исходные данные для расчёта по формуле (1) частот побочных каналов f_{SR} .

Частота гетеродина f_{LO} равна 9750 МГц.

Промежуточная частота f_{IF} равна 1450 МГц.

Ширина полосы B_R на промежуточной частоте в нашем случае равна 1000 МГц.

Поскольку приёмник работает на промежуточной частоте, то рассмотрим самый сложный случай – канал помех на промежуточной частоте и произведём расчёты с числом $p = 0$ (номер гармоник гетеродина) для этого случая. Отсюда $f_{SR} = 1450 \pm 500$ МГц.

Произведённые расчёты возможных частот в основном канале приёма для промежуточной частоты показали, что частоты КВ диапазона имеют возможность попадать в полосу промежуточной частоты только начиная с 40-х гармоник на частотах от 30 МГц и заканчивая на 480-х гармониках на частотах 3 МГц. Расчёты показали, что частоты СВ-КВ диапазона для промежуточной частоты станции сигналов спутникового цифрового телевидения имеют большую плотность и весь спектр излучений в СВ-КВ диапазоне попадает в виде гармоник от 40-х до 5000-х в канал промежуточной частоты станции сигналов спутникового цифрового телевидения. Для дальнейших расчётов выберем конкретные частоты и покажем, какими они являются гармониками для промежуточной частоты станции сигналов спутникового цифрового телевидения (табл. 1).

Приведём исходные данные для расчётов по формуле (2) порога чувствительности на входе приемника $P_R(f_{SR})$.

Основная чувствительность приемника $P_R(f_{OR})$ равна минус 60 дБ [3].

Основная частота приемника f_{OR} равна 1450 МГц.

Постоянные для характеристики подавления в отсутствие настройки выберем в соответствии с [1]: I равна минус 20 дБ/декада и J равна 80 дБ.

Приведём исходные данные для расчётов по формуле (3) мощностей сигналов помех, создаваемых излучениями СВ-КВ передатчиков на входе приемника спутниковой станции связи $P_1(f_{SR})$.

Эффективная излучаемая мощность $P_T(f_{OT})$ определяется формулой (4). Мощность на выходе передатчиков СВ-КВ $P_{прд} = 1000$ Вт (60 дБм).

Коэффициент усиления G_a проволочной Г-образной антенны был найден с помощью моделирования в программе *MMANA-GAL* [4].

Модель Г-образной СВ-КВ проволочной антенны была выполнена в большом приближении к размерам и конструкции реальной антенны в соответствии [5]. В соответствии с [5] был взят диаметр антенны 0,5 м и расстояние между кольцами 4 м. Таким образом, расстояние между крайними кольцами вертикальной части составило 8 м, а горизонтальной части – 16 м. Под антенной проводами длиной 60 м имитируется палуба шириной 12 м. Высота палубы над морской водой составляет 15 м. Модель антенны в программе *MMANA-GAL* приведена на рис. 1.

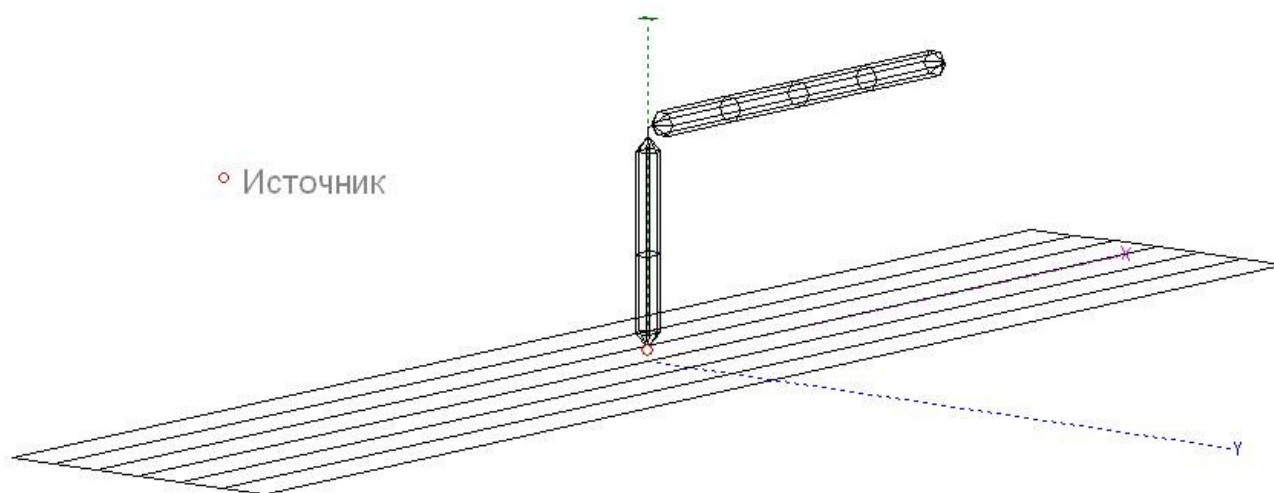


Рис. 1. Модель Г-образной проволочной антенны в программе *MMANA-GAL*

В программе *MMANA-GAL* для расчётов была введена реальная земля с параметрами морской воды средней солёности – $\sigma = 5$ S/m, $\varepsilon = 70$ Ф/м. При расчётах на каждой выбранной частоте были получены коэффициенты усиления антенны G_a , которые использовались при нахождении эффективной излучённой мощности в формуле (4) и далее, как эффективная излучённая мощность в формуле (3) для расчёта мощности сигнала помехи.

В табл. 1 представлены выбранные для расчётов частоты передатчиков СВ-КВ диапазонов, номера гармоник n частоты передатчика (f_{OT}) относительно промежуточной частоты приемника (f_{SR}), коэффициенты усиления Г-образной СВ-КВ проволочной антенны G_a , эффективная излучаемая мощность $P_T(f_{OT})$, рассчитанная по формуле (4).

Постоянные для характеристики уровней гармонических излучений передатчиков СВ-КВ диапазонов для нашего случая примем $A = -60$ дБ/декада, $B = -20$ дБ [1].

Приведём исходные данные для расчётов по формуле (5) для потерь на рассогласование между антеннами.

Потери в фидерной линии антенны передатчика выберем из технических характеристик на применяемый для проволочных антенн на кораблях кабель. В соответствии с ГОСТ 11326.54-79 на кабель радиочастотный марки РК 50-44-15 потери в фидере передающей антенны СВ-КВ передатчиков на частотах ниже 1 МГц составляют 0,001 дБ/м,

на частоте 10 МГц – 0,004 дБ/м, на частоте 20 МГц – 0,005 дБ/м, на частоте 30 МГц – 0,007 дБ/м. Потери при температуре 20 °С для кабеля длиной 50 м на частотах до 1 МГц составят не более 0,05 дБ, от 1 до 10 МГц – не более 0,2 дБ, от 10 до 20 МГц – не более 0,25 дБ, от 20 до 30 МГц – не более 0,35 дБ. Поскольку зависимость от частоты на потерях в фидерной линии незначительна и длина фидера точно неизвестна, то примем среднюю величину для всех расчётов $l_{ф\text{ прд}} = 0,2$ дБ.

Таблица 1 – Характеристики излучаемых сигналов СВ-КВ диапазонов

Частота передатчика $f_{от}$, МГц	Номер гармоники промежуточной частоты $n = f_{sr} / f_{от}$	Коэффициент усиления Г-образной СВ-КВ проволочной антенны G_a , дБи	Эффективная излучаемая мощность $P_T(f_{от})$, дБм
0,3	4800	-25,88	34,12
0,5	2900	-21,42	38,58
0,7	2070	-18,53	41,47
1,0	1440	-15,63	44,37
1,5	965	-10,88	49,12
3	483	6,3	66,3
5	290	4,06	64,06
10	145	2,58	62,58
20	72	1,39	61,39
30	48	2,53	62,53

Потери в фидерной линии антенны станции спутникового телевидения выберем из технических характеристик на применяемый для спутниковой антенны кабель. Приёмник станции спутникового телевидения обычно находится в непосредственной близости от антенны из-за больших потерь в кабелях на высоких частотах. В соответствии с ГОСТ 11326.48-79 на кабель радиочастотный марки РК 50-13-17 потери на частотах ниже 1 МГц составляют менее 0,005 дБ/м, на частоте 10 МГц – 0,01 дБ/м, на частоте 20 МГц – 0,015 дБ/м, на частоте 30 МГц – 0,02 дБ/м. Таким образом, в 20-30 метровом кабеле на частотах СВ-КВ диапазонов они могут составить 0,1 дБ. В эти потери можно включить прохождение СВ-КВ сигналов по высокочастотной части антенны спутниковой связи до кабеля, в которую входят параболическая антенна с рупором и конвертер. Формул для расчётов этих потерь нет. Примем для расчётов общие потери в высокочастотном тракте приёмника с кабелем $l_{ф\text{ прм}} = 1$ дБ.

Расстояние между антенной телевизионной станции и антенной СВ-КВ передатчиков исходя из жёстких условий $r = 10$ м.

Потери на рассогласование по поляризации β и от физических препятствий γ . В нашем случае можно принять, что препятствий между антенной СВ-КВ передатчиков и антенной телевизионной станции нет, а поляризационные потери в случае телевизионного сигнала с круговой поляризацией для сигналов СВ-КВ передатчиков с вертикальной поляризацией составляют 3 дБ. Если спутниковая станция настроена на приём сигналов с вертикальной поляризацией, то потери на поляризацию равны 0 дБ.

Приведём исходные данные для расчёта коэффициента усиления антенны приемника телевизионной станции G по формуле (6).

Эффективность или коэффициент использования поверхности антенны для большинства параболических антенн равен примерно $k = 0,55$.

Диаметр антенны примем равным $D = 1,25$ м.

Длина рабочей волны $\lambda = 0,025$ м;

Угол прихода волны выберем небольшим с учётом наибольшего воздействия помехи $\phi = 25^\circ$.

В нашем случае коэффициент усиления антенны с выбранным небольшим угломестным положением $\phi = 25^\circ$ (для сложной ситуации) и частоты 12 ГГц равен 40,5.

Для расчётов примем наихудшую ситуацию, когда по азимуту θ антенна приемника телевизионной станции направлена на антенну СВ-КВ передатчиков и коэффициент усиления максимален.

**Расчет воздействия непреднамеренных помех СВ-КВ диапазона,
излучаемых Г-образной антенной на порог чувствительности
приемника станции спутниковой связи Ku диапазона**

В табл. 2 представлены результаты расчёта по приведённой выше методике для выбранных гармоник (частот) промежуточной частоты приёмника станции сигналов спутникового цифрового телевидения, которые входят в спектр излучения радиопередатчиков СВ-КВ диапазонов. Данные результаты расчётов представлены с учётом поляризационных потерь 3 дБ, когда сигналы спутникового телевидения имеют круговую поляризацию.

Таблица 2 – Результаты расчётов воздействия непреднамеренных помех СВ-КВ диапазона на порог чувствительности приемника станции спутниковой связи Ku диапазона

Частота гармоник основного канала промежуточной частоты, МГц	Номер гармоник промежуточной частоты, $n = f_{SR} / f_{OT}$	Порог чувствительности приемника на промежуточной частоте в полосе 1000 МГц, $P_R(f_{SR})$, дБм	Мощность сигнала помехи, создаваемой излучениями СВ-КВ передатчиков на входе приемника, $P_1(f_{SR})$, дБм	Отношение мощности сигнала помехи к порогу чувствительности приёмника $P_1(f_{SR})/P_R(f_{SR})$, дБ
0,3±0,1	4800	20,0±3,5	-245,0	-12,25±1,75
0,5±0,17	2900	20,0±3,5	-223,0	-11,15±1,61
0,7±0,24	2070	20,0±3,5	-208,4	-10,42±1,48
1,0±0,34	1440	20,0±3,5	-193,1	-9,65±1,34
1,5±0,52	965	20,0±3,5	-174,3	-8,71±1,24
3±1,03	483	20,0±3,5	-133,0	-6,65±1,05
5±1,72	290	20,0±3,5	-117,5	-5,87±0,87
10±3,44	145	20,0±3,5	-94,9	-4,74±0,70
20±6,94	72	20,0±3,5	-72,0	-3,60±0,56
30±10,41	48	20,0±3,5	-56,8	-2,84±0,43

В [1] для установления критической величины отношения мощности сигнала помехи к порогу чувствительности приёмника $P_1(f_{SR})/P_R(f_{SR})$ приведены экспериментальные данные с измерением помех от КВ передатчика, работающего мощностью 1,5 кВт на расстоянии между антеннами передатчика и станции спутниковой связи 8,6 м. Было установлено, что при $P_1(f_{SR})/P_R(f_{SR}) \leq -1$ дБ не возникало затруднений при приеме эталонных телексных сообщений на станцию спутниковой связи с частотой несущей 1537,75 МГц. При отношении $P_1(f_{SR})/P_R(f_{SR}) \approx 2$ дБ, качество связи было признано удовлетворительным. В случае если значение $P_1(f_{SR})/P_R(f_{SR})$ равно или превышает 5 дБ, воздействие помех приводит к полному блокированию телефонного канала.

Данные результаты позволяют косвенно оценить воздействие помех на работу спутниковой телевизионной станции, поскольку телевизионный сигнал имеет другие

несущие и промежуточные частоты, другую полосу сигнала и модуляцию по сравнению с телексными режимами работы. Учитывая, что несущие и промежуточные частоты телевизионной станции находятся на большем разнесении от помех, чем у телексной станции, а модуляция *OFDM* сигналов цифрового телевидения *DVB-2/2S* имеет значительно более устойчивое кодирование, чем телексные сигналы, то можно сделать вывод, что полученные результаты в вышеприведённых экспериментах позволяют применить их к нашим расчётам.

Таким образом, из полученных результатов расчётов можно сделать выводы, что даже в самых сложных условиях при полной мощности излучения, при направлении антенны спутниковой станции по азимуту на Г-образную антенну СВ-КВ передатчиков и при попадании гармоник в полосу промежуточной частоты спутниковой телевизионной станции, помех приёму телевизионного сигнала не должно происходить, что связано с нахождением спектра излучения СВ-КВ передатчиков на очень удалённых гармониках от промежуточной частоты спутниковой телевизионной станции.

Однако при работающем на излучение передатчике СВ или КВ диапазона на Г-образную проволочную антенну следует учитывать другой фактор воздействия на любую радиоэлектронную аппаратуру, который состоит в возможности наводок от электромагнитного поля (ЭМП) с преобладающей электрической компонентой, создаваемого в так называемом ближнем поле. Рядом с источником излучения на расстояниях $0,01-0,05\lambda$ расположена ближняя зона, или индуктивное поле, на расстоянии, $0,05-1,6\lambda$ – промежуточная зона и на расстояниях более $1,6\lambda$ – дальняя зона поля излучения [6]. Данная картина представлена на рис. 2 [7, 8].

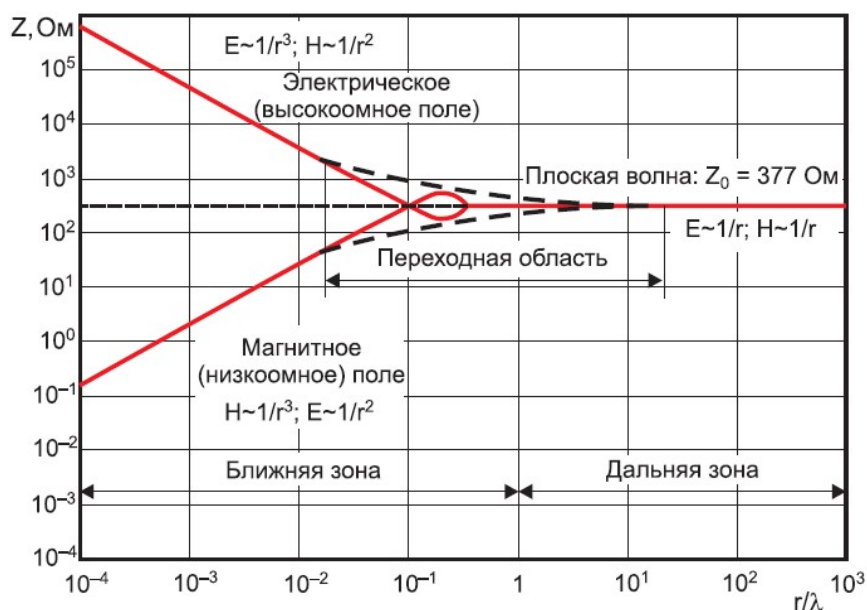


Рис. 2. Зависимость ЭМП от расстояния до излучателя

Если в источнике ток значительно меньше напряжения, как в нашем случае, в ближней зоне преобладает электрическая составляющая ЭМП. Вблизи антенны в виде штыря или натянутого провода, где преобладающим является электрическое поле, а импеданс источника Z_0 – генератора велик, полное волновое сопротивление также велико. По мере увеличения расстояния интенсивность электрического поля падает, так как оно создает дополняющее его магнитное поле (рис. 2). В нашем случае на расстоянии от

Г-образной антенны 10 м длина волны, на которой начнёт образовываться дальняя зона, составит $\lambda = 2\pi \cdot 10 = 62,8\text{ м}$ и более. Эта длина волны соответствует частоте $4,7\text{ МГц}$. Частота с длиной волны $0,05\lambda$ соответствует $1,5\text{ МГц}$, т. е. весь диапазон частот ниже этого значения

будет составлять для антенны спутниковой связи ближнюю зону, в которой для этих частот преобладает электрическая составляющая E ЭМП.

Таким образом, на частотах СВ диапазона при длинах волн в сотни метров в ближней зоне до 10 м создаётся мощное реактивное ЭМП, которое образует наводки в проводах, кабелях, электрорадиоэлементах. Можно оценить количественно величину ЭМП, создаваемую Г-образной проволочной антенной в зоне антенны спутникового телевидения в зависимости от величины тока в антенне, длины волны и разноса антенн между собой.

Количественная оценка напряжённости ЭМП СВ диапазона в ближнем поле

Составляющие электромагнитного поля электрического вибратора в сферической системе координат (r, φ, θ) в ближней зоне (рис. 3) могут быть описаны приближёнными выражениями [9]:

$$E_r = \frac{lI}{2\pi\omega\epsilon\epsilon_0 r^3} \sin \omega t \cos \theta, \quad (7)$$

$$E_\theta = \frac{lI}{4\pi\omega\epsilon\epsilon_0 r^3} \sin \omega t \sin \theta, \quad (8)$$

$$H_\varphi = \frac{lI}{4\pi r^2} \sin \theta \cos \omega t, \quad (9)$$

где: E_r – составляющая напряжённости электрического поля на расстоянии r от передающей антенны;

E_θ – составляющая напряжённости электрического поля, перпендикулярная к E_r ;

H_φ – составляющая напряжённости магнитного поля, силовые линии которого имеют сдвиг по фазе на $\pi/2$ относительно силовых линий электрического поля;

ω – круговая частота равная $2\pi f$, где f – частота передатчика;

ϵ – диэлектрическая проницаемость воздуха, равная 1,00057 Ф/м;

ϵ_0 – электрическая постоянная, равная $8,854 \cdot 10^{-12}$ Ф/м;

I – ток в передающей антенне, А;

l – высота передающей антенны, равная в нашем случае 9 м;

θ – угол места между направлением от передающей антенны к приёмной;

λ – длина волны СВ-КВ передатчика, м.

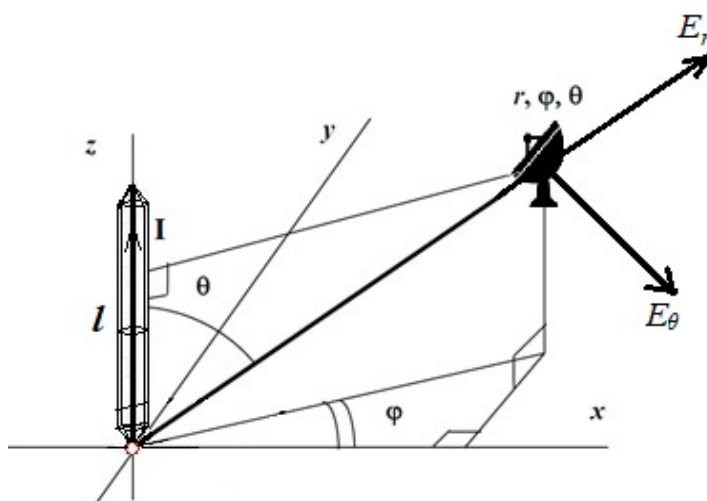


Рис. 3. Сферическая система координат размещения антенн

Для расчётов выберем частоты f менее 1,5 МГц с длиной волны λ более 200 м, которые создают в зоне приёмной антенны ближнее поле СВ передатчика. Критерием

критичности создаваемого ЭМП в области антенного поста выберем требования из руководящих документов по ЭМС на кораблях и судах.

В соответствии с п. 2.1.3 РД 31.64.26-2000 [10] нормы параметров помехозащищённости по сети Э.Д.С. должны составлять не менее:

- 146 дБмкВ/м – для радиоприёмников первой категории сложности, антенных усилителей и коммутаторов;
- 140 дБмкВ/м – для радиоприёмников второй категории сложности.

В соответствии с п. 2.5.2 РД 31.64.26-2000 [10] для судовых электронных и электротехнических средств, размещаемых на палубе и мостике, для которых отсутствуют особые требования в Государственных стандартах РФ (ГОСТ Р) и в технических условиях завода изготовителя, электрическое поле излучаемых помех на частотах от 300 кГц до 30 МГц на расстоянии 3 м не должно превышать 52-34 дБмкВ/м.

Выполненные расчёты показали, что составляющая напряжённости ЭМП E_r на расстоянии 10 м от Г-образной антенны в зависимости от изменения угла θ от 0° до 90° и тока в антенне от 2 до 10 А составляет от 110 до 153 дБмкВ/м. При этом наибольшие напряжённости E_r достигают при $\theta = 0^\circ$ и постепенно снижаются при увеличении θ до 90° , достигая минимума. На расстоянии 20 м от Г-образной антенны составляющая напряжённости ЭМП E_r при той же закономерности изменения угла θ от 0° до 90° и тока в антенне от 2 до 10 А составляет от 92 до 141 дБмкВ/м, т. е. снижается в среднем на 15 дБмкВ/м. На рис. 4-6 для примера показаны зависимости напряжённости ЭМП E_r от частоты f при θ равном 60, 45 и 0° соответственно для разных токов в антенне с учётом превышения уровня ЭМП более 140 дБмкВ/м на расстоянии 10 м между антеннами. Из рисунков видно, что с ростом частоты уровень ЭМП не значительно снижается.

Составляющая напряжённости ЭМП E_θ на расстоянии 10 м от Г-образной антенны в зависимости от изменения угла θ от 0° до 90° и тока в антенне от 2 до 10 А составляет от 98 до 147 дБмкВ/м. При этом наибольшие напряжённости E_r достигают при $\theta = 90^\circ$ и постепенно снижаются при уменьшении θ до 0° , достигая минимума. На расстоянии 20 м от Г-образной антенны составляющая напряжённости ЭМП E_r при той же закономерности изменения угла θ от 0° до 90° и тока в антенне от 2 до 10 А составляет от 86 до 135 дБмкВ/м, т. е. снижается в среднем на 12 дБмкВ/м. На рис. 7-9 для примера показаны зависимости напряжённости ЭМП E_θ от частоты f при θ равном 90, 60 и 45° соответственно для разных токов в антенне на расстоянии 10 м между антеннами. Из рисунков видно, что с ростом частоты уровень ЭМП снижается не значительно.

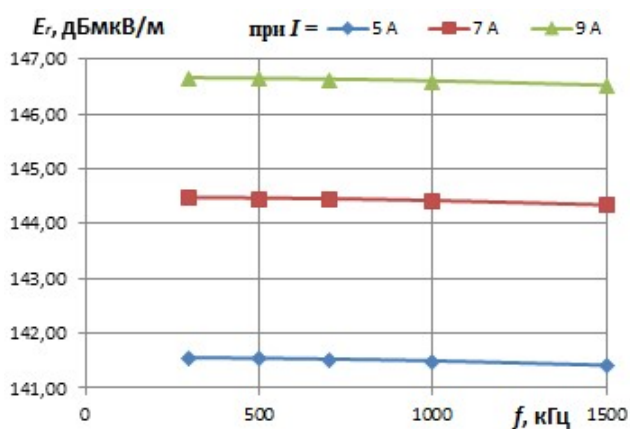


Рис. 4. Зависимость напряжённости ЭМП E_r от частоты f при $\theta = 60^\circ$

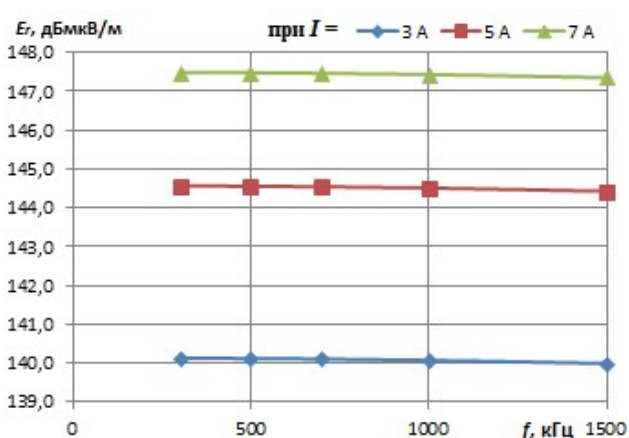


Рис. 5. Зависимость напряжённости ЭМП E_r от частоты f при $\theta = 45^\circ$

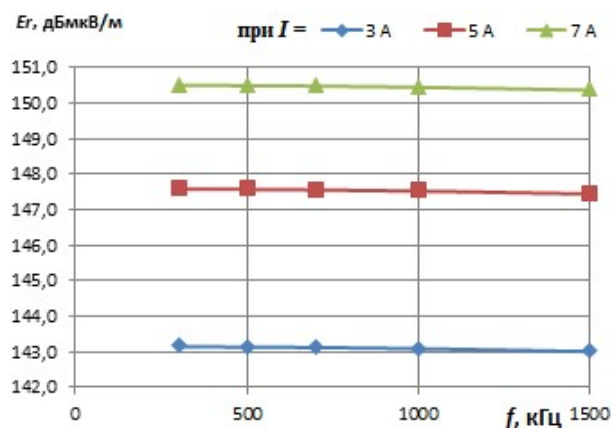


Рис. 6. Зависимость напряжённости ЭМП E_r от частоты f при $\theta = 0^\circ$

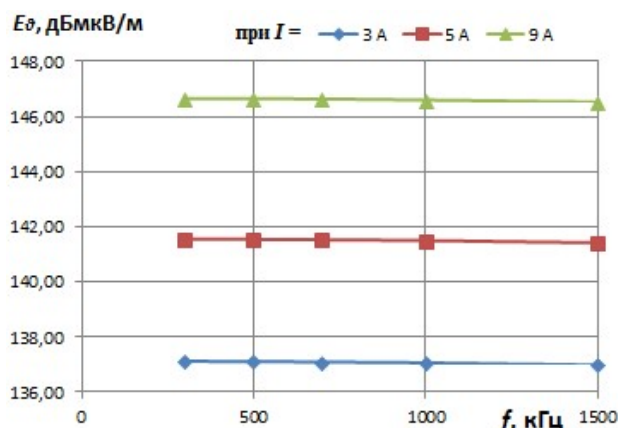


Рис. 7. Зависимость напряжённости ЭМП E_θ от частоты f при $\theta = 90^\circ$

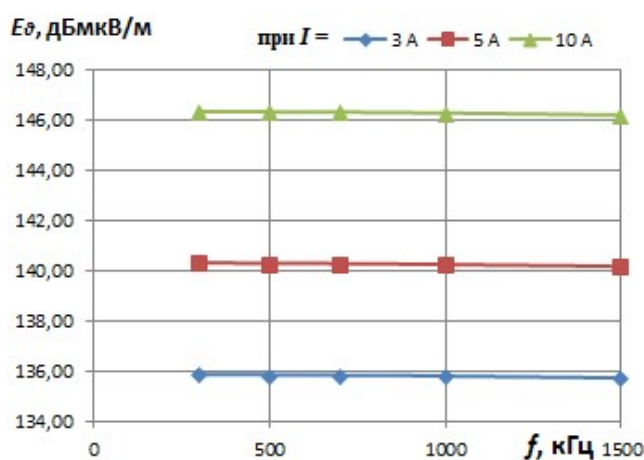


Рис. 8. Зависимость напряжённости ЭМП E_θ от частоты f при $\theta = 60^\circ$

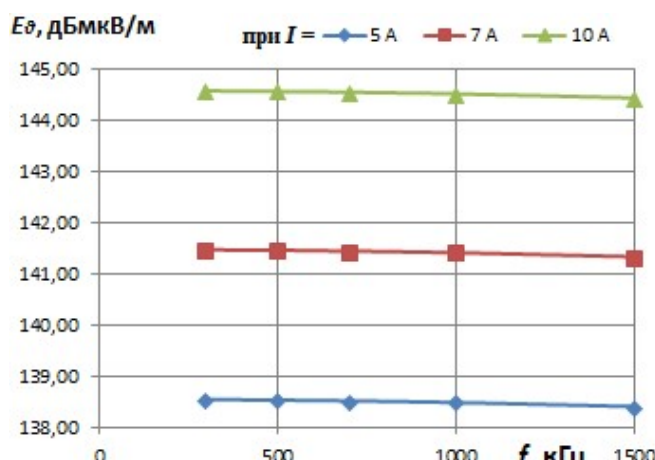


Рис. 9. Зависимость напряжённости ЭМП E_θ от частоты f при $\theta = 45^\circ$

Расчёт составляющей напряжённости ЭМП H_θ показал, что на расстоянии 10 м от Г-образной антенны в зависимости от изменения угла θ от 0° до 90° и тока в антенне от 2 до 10 А её величина составляет от 46 до 95 дБмкВ/м. Это значительно ниже помех от электрической составляющей напряжённости ЭМП.

Однако образование наводок в кабелях, проводах и элементах радиоэлектронной аппаратуры от электрической и магнитной составляющих ЭМП ближней зоны происходит по-разному. Электрическое поле влияет на рецептор через паразитную ёмкостную связь с источником, а магнитное поле – через паразитную индуктивную связь. Поэтому необходимо учитывать и магнитную составляющую помех ЭМП, хотя она имеет меньшую величину, чем электрическая. На основании полученных данных о величинах составляющих ЭМП помех для обеспечения помехоустойчивости радиоэлектронной аппаратуры выбирают соответствующий электрическому и магнитному полю экран [7].

Количественная оценка величины наводок от помех ЭМП составляет сложную задачу и зависит от многих факторов, таких, например, как длина проводников, их диаметр, экранировка, их направление прокладки (совместно с другими линиями, параллельно или перпендикулярно и т. п.), качество заземления, наличие экранов, материалы из которых они изготовлены, конструкция и качество экранировки и т. д.

Из полученных результатов расчётов можно сделать вывод, что для снижения влияния наводок от ближнего электромагнитного поля необходимо увеличивать разнос между передающей антенной СВ-КВ диапазона и антенными постами станций спутниковой связи, особенно в вертикальной плоскости.

Для повышения помехоустойчивости в условиях непреднамеренных помех на кораблях и судах необходимо в полной мере выполнять требования раздела 3 «Правила обеспечения ЭМС на судах и других МПО» РД 31.64.26-2000 [10].

Выводы

1) Непреднамеренные помехи от излучения сигналов СВ-КВ передатчиков на корабельную Г-образную проволочную антенну не должны создавать нарушений в работе спутниковых станций связи Ку диапазона при разнесении антенн на 10 и более м.

2) Корабельная Г-образная проволочная антенна при мощности СВ передатчика 1 кВт может создавать в ближнем электромагнитном поле на расстоянии 10 м электрическую составляющую ЭМП достигающую более 150 дБмкВ/м, что превышает требования установленные в руководящих документах по ЭМС к радиоэлектронным средствам, размещаемым на верхних палубах и мостиках. Такие уровни электромагнитного поля могут вызывать наводки в монтаже и элементах радиоэлектронной аппаратуры. Для уменьшения воздействия ближнего электромагнитного поля необходимо увеличивать разнос между передающей антенной СВ-КВ диапазона и антенными постами станций спутниковой связи, особенно при возможности в вертикальной плоскости. Для повышения помехоустойчивости в условиях непреднамеренных помех на кораблях и судах необходимо в полной мере выполнять требования раздела 3 «Правила обеспечения ЭМС на судах и других МПО» РД 31.64.26-2000.

Литература

1. R-HDB-51-2006-OAS-PDF-R Помехи и шумы в морских подвижных спутниковых службах. Справочник. Подвижная спутниковая служба. Добавление 3 – Помехи и шумы в морских подвижных спутниковых системах, использующих частоты в области 1,5 и 1,6 ГГц. // Источник: Отчет МСЭ-R M.764-2, 2008. С. 31-40.
2. Артёмова Т. К., Гвоздарёв А. С., Фомичёв Н. И. Электромагнитная совместимость: Задачник // Ярославский гос-й. универ-т имени П. Г. Демидова. – Ярославль: ЯрГУ, 2012. – 56 с.
3. URL: http://www.shs-systems.ru/catalog/satellite/prolnb/smw_quattro.html (дата обращения: 22.03.2024).
4. Гончаренко И. В. Компьютерное моделирование антенн. Все о программе MMANA // Издательство «РАДИОСОФТ», 2002. 80 с.
5. Рабочий альбом типовых конструкций, часть 1 (600-19.020) ЕИУА.360043.004 «Узлы крепления судовых антенн, конструктивно-монтажные узлы» // П/Я В-2156, 1972. С. 28-30.
6. Скворцов В. Заземление и экранирование как способы обеспечения электромагнитной совместимости электронных устройств // Силовая электроника. 2020. № 2. С. 36-43.
7. Чернышев А. И., Шиняков Ю. А., Селяев А. Н., Гаврилов А. М. Особенности помеховых электромагнитных полей в ближней зоне излучения от импульсных преобразователей электрической энергии // Проблемы энергетики. 2003. № 1-2. С. 80-92.
8. Панасюк Ю. Н., Пудовкин А. П. Электромагнитные поля. Учебн. пособ. – Тамбов: Издательско-полиграфический центр ФГБОУ ВПО «ТГТУ». 2014. С. 50-52.
9. URL: https://neo-chaos.narod.ru/useful/emc/near_far_fields.pdf. (дата обращения: 22.03.2024) // Интернет-ресурс кафедры № 26 НИЯУ «МИФИ». Литература: Электромагнитная совместимость. Раздел I.2.4. Ближние и дальние поля. С. 43-51.
10. РД 31.64.26-2000. Нормы и правила обеспечения электромагнитной совместимости (ЭМС) на морских подвижных объектах и методы комплексной оценки ЭМС, 2000. 104 с.

References

1. R-HDB-51-2006-OAS-PDF-R Interference and noise in maritime mobile-satellite services. *Spravochnik. Podvizhnaya sputnikovaya sluzhba. Dobavlenie 3 – Pomexi i shumy` v morskix podvizhny`x sputnikov`x sistemax, ispol`zuyushhix chastoty` v oblasti 1,5 i 1,6 GGcz* [Directory. Mobile satellite service. Appendix 3 – Interference and noise in maritime mobile satellite systems using frequencies in the 1.5 and 1.6 GHz region]. *Istochnik: Otchet MSE`-R M.764-2* [Source: Report ITU-R M.764-2]. 2008. Pp. 31-40.

2. Artyomova T. K., Gvozdev A. S., Fomichev N. I. *E'lektromagnitnaya sovmestimost': Zadachnik* [Electromagnetic compatibility: Problem book]. Yaroslavl' gosudarstvennyj. universitet imeni P. G. Demidova [Yarosl. state University named after P. G. Demidova]. Yaroslavl. YarSU Publ., 2012. 56 p. (In Russian)
3. URL: http://www.shs-systems.ru/catalog/satellite/prolnb/smw_quattro.html (access date: 03.22.2024).
4. Goncharenko I. V. *Komp'yuternoe modelirovanie antenn. Vse o programme MMANA* [Computer modeling of antennas. All about the MMANA program]. Radiosoft Publishing House, 2002. 80 p. (In Russian)
5. *Rabochij al'bom tipovy'x konstrukcij, chast' 1 (600-19.020) EIUA.360043.004 «Uzly' krepleniya sudovy'x antenn, konstruktivno-montazhny'e uzly'»* [Working album of standard designs, part 1 (600-19.020) EIUA.360043.004 "Attachment units for ship antennas, structural and installation units"]. P/Ya V-2156, 1972. pp. 28-30. (In Russian)
6. Skvortsov V. *Zazemlenie i e'kranirovanie kak sposoby' obespecheniya e'lektromagnitnoj sovmestimosti e'lektronny'x ustroystv* [Grounding and shielding as ways to ensure electromagnetic compatibility of electronic devices]. Power Electronics Publ., 2020. No. 2. P. 36-43. (In Russian)
7. Chernyshev A. I., Shinyakov Yu. A., Selyaev A. N., Gavrilov A. M. *Osobennosti pomexovy'x e'lektromagnitny'x polej v blizhnej zone izlucheniya ot impul'sny'x preobrazovatelej e'lektricheskoy e'nergii* [Features of interference electromagnetic fields in the near zone of radiation from pulsed electrical energy converters]. Energy problems Publ., 2003. No. 1-2. pp. 80-92. (In Russian)
8. Panasyuk Yu. N., Pudovkin A. P. *E'lektromagnitny'e polya*. [Electromagnetic fields]. Tambov. Izdatel'sko-poligraficheskij centr FGBOU VPO «TGTU» [Publishing and printing center of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education "TSTU"]. 2014. Pp. 50-52. (In Russian)
9. URL: https://neo-chaos.narod.ru/useful/emc/near_far_fields.pdf. (date of access: 03/22/2024) // Internet resource of department No. 26 of the National Research Nuclear University "MEPhI". Literature: Electromagnetic compatibility. Section I.2.4. Near and far fields. pp. 43-51.
10. RD 31.64.26-2000. *Normy' i pravila obespecheniya e'lektromagnitnoj sovmestimosti (E'MS) na morskix podvizhny'x ob'ektax i metody' kompleksnoj ocenki E'MS* [Norms and rules for ensuring electromagnetic compatibility (EMC) on marine mobile objects and methods for comprehensive assessment of EMC]. 2000. 104 p. (In Russian)

Статья поступила 15 марта 2024 г.

Информация об авторах

Ильмер Дмитрий Валерьевич – Кандидат технических наук. Начальник отдела АО «НИИ «Нептун». Область научных интересов: проектирование антенно-фидерных систем. Тел.: +7(812)327-49-96 доб. 224. E-mail: ilm@niineptun.ru.

Шаповалов Фёдор Александрович – Инженер 3 категории АО «НИИ «Нептун». Область научных интересов: проектирование антенно-фидерных систем. Тел.: +7(812)327-49-96 доб. 180. E-mail: shapovalovf99@yandex.ru.

Помазунов Сергей Александрович – Временный генеральный директор АО «НИИ «Нептун». Соискатель ученой степени кандидата технических наук. Область научных интересов: проектирование антенно-фидерных систем. Тел.: +7(812)327-09-72. E-mail: psa@niineptun.ru.

Исламов Альберт Ильдарович – Заместитель генерального директора по научно-техническому развитию АО «НИИ «Нептун». Соискатель ученой степени кандидата технических наук. Область научных интересов: проектирование антенно-фидерных систем. Тел.: +7(812)327-09-72. E-mail: iai@niineptun.ru.

Адрес: 199178, Россия, г. Санкт-Петербург, В.О. 7-я линия, д. 80, корп. 1, лит. А.

Assessment of electromagnetic compatibility of the ship's satellite communication station of the Ku band in the conditions of mutual interference from MF-HF radio transmitters devices

D. V. Ilmer, F. A. Shapovalov, S. A. Pomazunov, A. I. Islamov

Annotation: Introduction: In modern conditions, equipping ships and vessels, especially for special purposes, with a large number of radio-electronic equipment to ensure navigation, radio communications,

navigation safety, operation of special equipment and weapons, reception of infotainment content and others leads to the impossibility of rational placement of all antenna devices taking into account the requirements of electromagnetic compatibility. Accordingly, it is relevant to predict the impact of certain radiating systems, especially high power ones, on receiving devices with different relative positions of antennas. Of particular interest are satellite communication antenna systems, which cannot be located in the radiation sectors of radar stations and are very difficult to raise higher due to their weight and size characteristics. At the same time, they cannot be positioned very low due to the formation of shadow sectors by superstructures, masts and other antennas in the direction of spacecraft, which leads to solving a very difficult problem of their rational placement on ships and vessels. **The purpose of the work is** to quantitatively analyze the impact of MF-HF radiation from an L-shaped wire antenna on the operation of a Ku-band shipborne satellite communication station. **Result:** consists in quantitatively determining the degree of impact of the MW-HF radiation of the L-shaped wire antenna on the receiving path of the Ku band satellite communication station, taking into account the effective radiated power and the relative position of the antennas. **Practical significance:** the completed calculation results make it possible to develop recommendations for the relative placement of antennas on ships and ships, taking into account the fulfillment of electromagnetic compatibility requirements.

Keywords: antenna, relative position of antennas, gain, side channel, noise immunity, radio transmitter, radio receiver, electromagnetic field strength, unintentional interference, satellite, communications, sensitivity, sensitivity electromagnetic compatibility, effective radiated power.

Information about Authors

Ilmer Dmitry Valerievich – Candidate of Technical Sciences. Head of the department of JSC "Research Institute "Neptune". Research interests: design of antenna-feeder systems. Tel.: +7(812)327-49-96 ext. 224. E-mail: ilm@niineptun.ru.

Shapovalov Fedor Aleksandrovich – Engineer of the 3rd category of JSC "Research Institute "Neptune". Research interests: design of antenna-feeder systems. Tel.: +7(812)327-49-96 ext. 180. E-mail: shapovalovf99@yandex.ru.

Pomazunov Sergey Alexandrovich – Interim General Director of JSC "Research Institute "Neptune". Applicant of the academic degree of Candidate of Technical Sciences. Research interests: design of antenna-feeder systems. Tel.: +7(812)327-09-72. E-mail: psa@niineptun.ru.

Islamov Albert Ildarovich – Deputy General Director for Scientific and Technical Development of JSC "Research Institute "Neptune". Applicant of the academic degree of Candidate of Technical Sciences. Research interests: design of antenna-feeder systems. Tel.: +7(812)327-09-72. E-mail: psa@niineptun.ru.

Address: 199178, Russia, St. Petersburg, V.O. 7th line, d. 80, bldg. 1, lit. A. Tel. +7(812)327-09-72. E-mail: inform@niineptun.ru.

Для цитирования: Ильмер Д. В., Шаповалов Ф. А., Помазунов С. А., Исламов А. И. Оценка электромагнитной совместимости корабельной станции спутниковой связи Ку диапазона в условиях взаимных помех от СВ-КВ радиопередающих устройств // Техника средств связи. 2024. № 1 (165). С. 26-38. DOI: 10.24412/2782-2141-2024-1-26-38.

For citation: Ilmer D. V., Shapovalov F. A., Pomazunov S. A., Islamov A. I Assessment of electromagnetic compatibility of the ship's satellite communication station of the Ku band in the conditions of mutual interference from MF-HF radio transmitters devices. Means of Communication Equipment. 2024. No. 1 (165). Pp. 26-38. DOI: 10.24412/2782-2141-2024-1-26-38.(in Russian).

МОДЕЛИРОВАНИЕ СЛОЖНЫХ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

УДК 621.317

DOI: 10.24412/2782-2141-2024-1-39-48

**Имитационная модель мультиплексированного цифрового потока
в приемопередающих трактах сетей подвижных
средств многоканальной радиосвязи**

Иванов В. А., Иванов И. В., Акимов Э. М., Егоров М. В.

Аннотация. Представлена имитационная модель цифрового потока, разработанная по блочно-модульной схеме с привлечением цепей Маркова. Динамика событий инициализируется по времени генерацией длительности участков локальной стационарности, на которых вероятность распределения двоичной случайной величины сохраняет постоянное значение. **Новизна работы** состоит в том, что для генерации цифрового потока согласованно используются аппарат марковских цепей, случайные значения начальных величин, заданных в определенных диапазонах, и авторский метод направленного перебора с учетом ограничений на диапазоны изменения вероятностей многомерных дискретных случайных величин. **Практическая значимость работы** заключается в возможности использования модели для настройки отечественного и зарубежного оборудования, расширяющего возможности подвижных сетей многоканальной радиосвязи.

Ключевые слова: датчик случайных чисел, имитационная модель, марковский процесс, мультиплексированный цифровой поток, цепь Маркова, участок локальной стационарности.

Введение

Системы подвижной радиосвязи разворачиваются для усиления и резервирования стационарных сетей связи при выходе их из строя, в районах чрезвычайных ситуаций, которые не оборудованы для связи, и для наращивания стационарной сети при ликвидации негативных ситуаций и последствий. Для этих целей используются средства радиорелейной, тропосферной и спутниковой связи. Пропускная способность и возможности по качеству обслуживанию абонентов подвижных сетей многоканальной радиосвязи (МКРС) значительно ниже, чем стационарной платформы телекоммуникаций. Поэтому данные средства используются в качестве сетей доступа к магистральной транспортной сети федерального значения. Для повышения пропускной способности МКРС существуют специальные устройства оптимизации трафика, сжатия данных и устранения информационной избыточности в передаваемых сообщениях. В статье предлагается имитационная модель цифрового потока, которая позволяет провести исследования существующих средств и технологий оптимизации трафика и других функций, широко применяемых в корпоративных сетях, по их адаптации и настройки для использования в подвижных сетях МКРС.

**Функциональная схема имитационной модели,
блоки и алгоритмы генерации цифрового потока**

Для оператора, обслуживающего устройство акселерации трафика, мультиплексированный цифровой поток (МЦП) представляется как некоторая случайная двоичная последовательность. В работе [1] показано, что в общем случае для статистического мультиплексирования эта последовательность обладает, во-первых, локальной стационарностью для параметров случайного распределения двоичной дискретной величины (ДСВ), во-вторых, длительность участков стационарности меняется случайным образом в определенных пределах.

Цифровой поток можно представить последовательностью случайных величин, одна из которых, это длительность участка локальной стационарности, другие – характеристики

реализации случайного двоичного процесса. Для разработки модели использован математический аппарат многосвязных двоичных цепей Маркова. Моделирование характеристик потока, информация о которых на момент разработки не может быть получена в полном объеме, обеспечивается с помощью специальной процедуры, суть которой заключается в привлечении датчиков случайных чисел (ДСЧ), что позволяет при моделировании учесть неопределенность, обусловленную косвенным влиянием внешних факторов, сетевых настроек и аппаратных характеристик на МЦП. Распределения и границы интервала ДСВ обосновываются исходя из объективных требований, ограничений и условий постановки задачи для проведения вычислительных экспериментов с моделями.

Для моделирования динамики протекания и развития процесса может использоваться два варианта [2, 3]. Первый – это инициализация событий с помощью глобальной переменной, в качестве которой выступает время с дискретным и постоянным шагом моделирования. Данный подход больше подходит для моделирования цифрового потока в синхронных схемах мультимплексирования. Второй вариант рассчитан на системы асинхронного мультимплексирования, при котором развитие процесса в МЦП инициализируется некоторым начальным событием. В работе используется комбинированный подход, рассчитанный на общий случай, в том числе системы статистического уплотнения абонентского трафика. Исходно мультимплексированный цифровой поток эмулируется датчиками случайных чисел, генерирующих случайную двоичную последовательность с равномерным законом распределения, которая преобразуется в последовательность разных по длительности участков локальной стационарности. Признаком локальной стационарности участка выступает сохранение закона и параметров распределения двоичных векторов, размерность которых определяет задаваемая в ходе модельного эксперимента значность и связность аппроксимирующей цепи Маркова.

Инициализация длительности участков локальной стационарности в отношении параметров распределения ДСВ носит дискретный характер осуществляется по правилу:

$$t_k = t_{k-1} + \Delta t_k, k \in (0, |T/\Delta t|),$$

где $t_k, (t_{k-1})$ – модельное время для k -го и $(k-1)$ -го состояний модели; Δt_k – шаг изменения модельного времени на для k -го участка локальной стационарности; T – общее время моделирования.

Для внешнего наблюдателя длительность Δt_k носит случайный характер. При каждой инициализации Δt_k формируется с помощью ДСЧ, работающего в интервале от T_{min} до T_{max} . В сетях специальной связи, предназначенных для передачи разнородного трафика, максимальная длительность определяется допустимыми задержками для речевой и видео информации. Минимальная – длительностью пакета, размер которого зависит от настроек сети и качества канала связи. Закон распределения случайной величины Δt_k задается при постановке модельного эксперимента в исходных данных. В условиях неопределенности и на начальных стадиях испытаний целесообразно использовать нормальный закон распределения Δt_k .

Заполнение участка локальной стационарности ДСВ осуществляется блоком формирования двоичных символов (двоичных векторов) по закону Марковского случайного процесса.

Имитационная модель МЦП, структурная схема которой представлена на рис. 1, выполнена в виде совокупности функционально взаимосвязанных модулей и блоков.

Модули на уровне «вход – выход» обеспечивают эргономику модели, ее управление при смене условий проведения модельного эксперимента и симуляцию МЦП. Блоки реализуют функции расчета вероятностей появления символов для односвязной или

многосвязной цепи Маркова, счетчиков, измерителей и алгоритмов преобразования матриц финальных и переходных вероятностей в последовательность дискретных ДСВ (1,0) с заданным распределением.

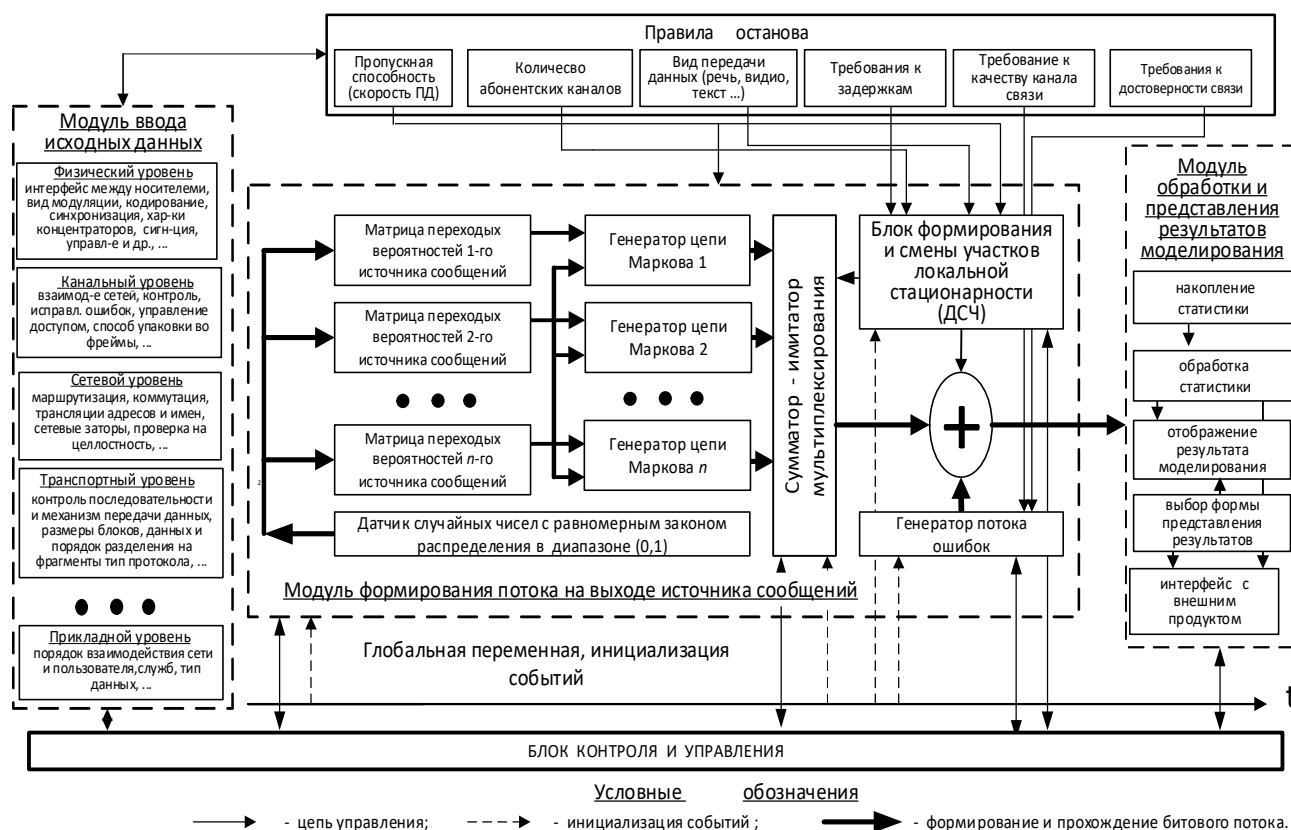


Рис. 1. Функциональная схема имитационной модели для генерации двоичного случайного потока с марковскими свойствами и распределением дискретной двоичной случайной величины на случайных по длительности участках локальной стационарности

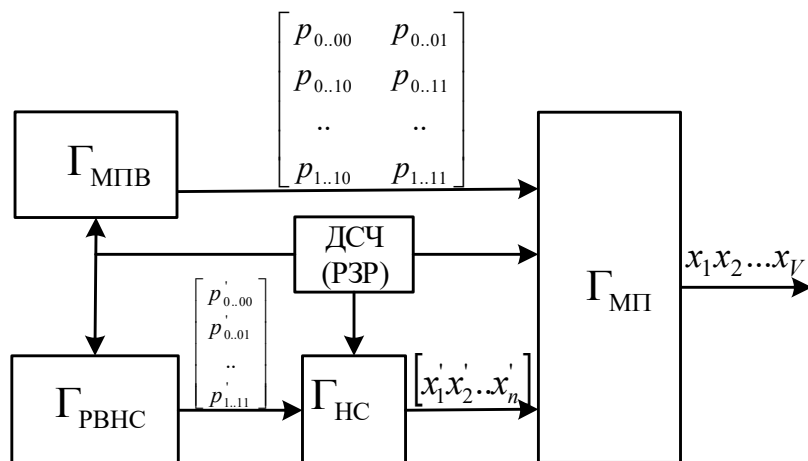
Модуль ввода исходных данных обеспечивает оперативность и удобство ввода данных, распределенных по уровням эталонной модели взаимодействия открытых систем (ЭМВОС): физическом, канальном, сетевом, транспортным, сеансовым, представительском и прикладном.

Второй модуль имитирует цифровой поток с выхода мультиплексора в групповой тракт. Для симуляции используется математический аппарат цепей Маркова (ЦМ).

Множество значений для параметров марковского случайного процесса, определяющих вероятности появления в потоке ДСВ, воспроизводится с помощью методов статистического моделирования. Статистические свойства имитируемого марковского случайного процесса определяют значения для элементов матрицы переходных вероятностей и вектора начальных состояний. При проведении испытаний начальные значения параметров для них моделируются с помощью датчика случайных чисел, задаваемых в диапазоне (0,1) и определенным законом распределения.

Схема генерации Марковского двоичного случайного потока n -го порядка представлена на рис. 2.

Схема включает в себя генератор значений элементов матрицы переходных вероятностей, генератор вероятностей значений вектора начальных состояний, генератор начального состояния и генератор двоичного сложного Марковского процесса порядка n .

Рис. 2. Схема генерации n -связного двоичного марковского процесса

В работе алгоритм использует датчик случайных чисел (ДСЧ), выдающий значения в интервале $(1,0)$ с равномерным законом распределения (РЗР). В результате получения на выходе датчика 2^n значений и их последующей нормировки по условию равенства единице для суммы вероятностей несовместных событий производится формирование порогов отнесения случайной величины к области принятия решения, соответствующей одной из 2^n возможных комбинаций бинарной последовательности из n символов.

В работе [1] предложен алгоритм генерации распределения вероятностей для вектора начальных состояний (РВНС) сложного марковского процесса, представленный на рис. 3.

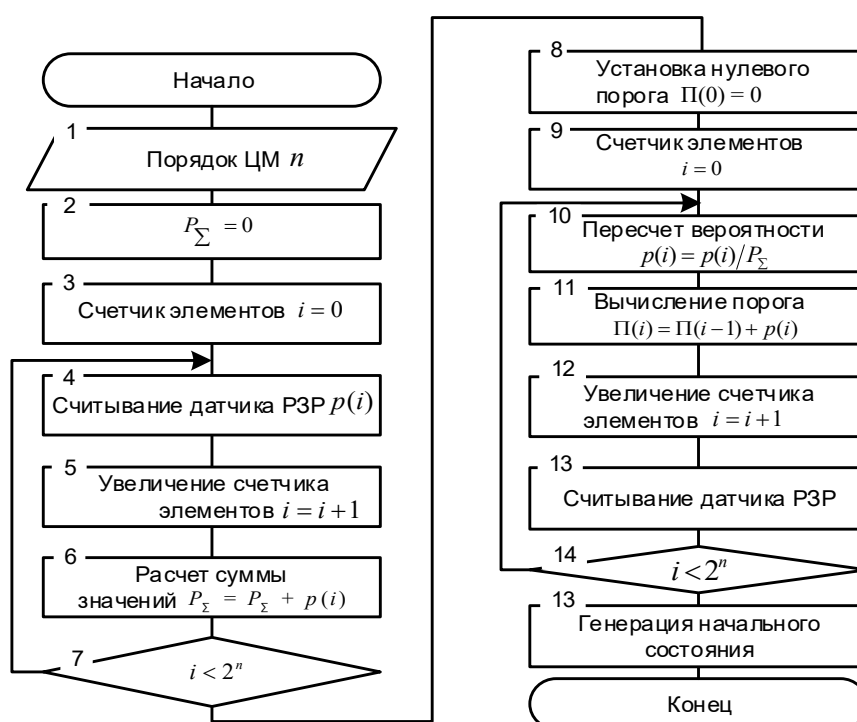


Рис. 3. Алгоритм генерации распределения вероятностей вектора начальных состояний

Разработан авторский метод направленного перебора для моделирования марковского процесса с учетом ограничений на диапазоны изменения вероятностей многомерных ДСВ, определяемых значениями вероятностей ДСВ меньшей размерности [4]. Достоинством метода является снижение вычислительной сложности за счет отбраковки двоичных

последовательностей, для которых не выполняются требования к точности воспроизведения статистических свойств. Алгоритм, реализующий метод, представлен на рис. 4.

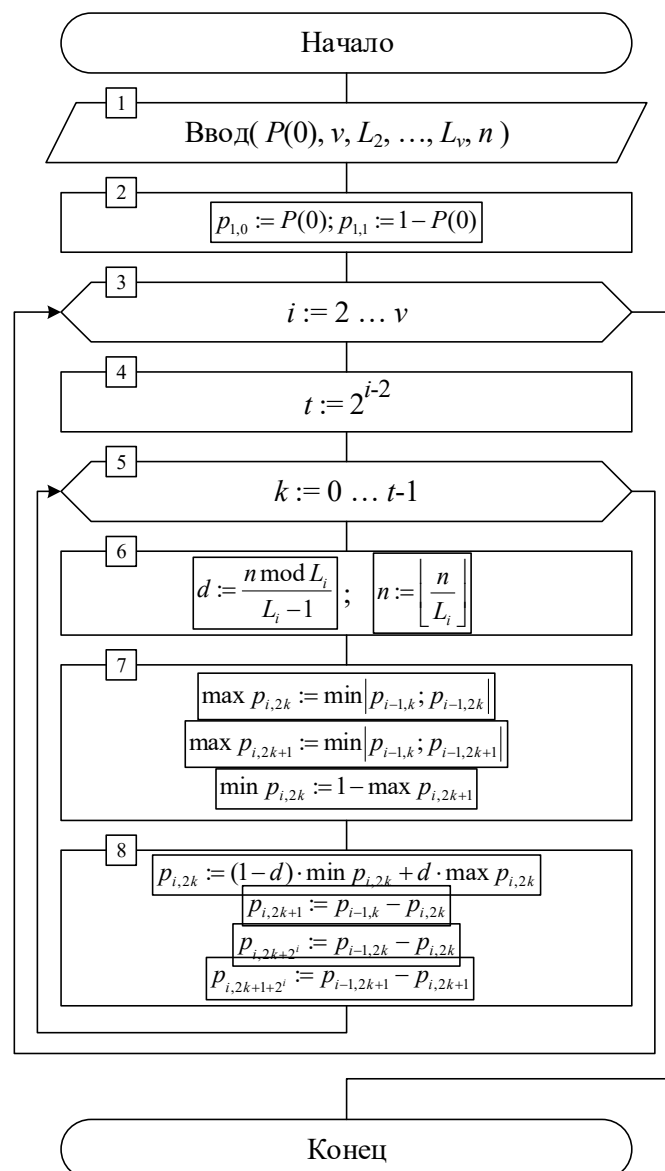


Рис. 4. Алгоритм расчета значений вероятностей для ряда распределения многомерных двоичных векторов

Результатом работы алгоритма является множество значений вероятностей двоичных векторов длины v . Алгоритм позволяет задавать точность при описании статистических свойств ДСП посредством параметров, определяющих связность ЦМ и количество интервалов для значений вероятностей в группах векторов заданной длины.

Управление моделью и контроль параметров генерируемого МЦП обеспечивается с помощью блока управления и контроля. Управление позволяет оперативно изменять характеристики генерируемого процесса при смене стратегии проведения эксперимента, а контроль следить за их параметрами, что необходимо для сравнения потоков на выходе источника сообщения и на входе акселератора после его сжатия. Такая организация и сравнение обеспечивают проведение модельного эксперимента в нужном направлении, добиваясь оптимальной работы алгоритма сжатия цифрового потока.

Блок с правилами останова является обязательным атрибутом предлагаемой имитационной модели, при работе которой используются циклические вычисления и

повторяющиеся процедуры для симуляции цифрового потока. Наличие блока позволяет увязать свойства генерируемого случайного процесса с требованиями к связи и значениями исходных данных.

Доведение имитационной модели до состояния рабочего инструмента требует реализации ее алгоритмов в некоторой программной среде, в качестве которой целесообразно использовать языки программирования высокого уровня с процедурной или объектно-ориентированной организацией функций, развития свойств, вычислений и взаимодействия элементов модели.

Модуль обработки и представления результатов моделирования обеспечивает удобный интерфейс исследователя при постановке модельного эксперимента, оперативность при смене исходных данных и условий моделирования, предварительную обработку выходных данных, представление их в табличном и графическом формате для оценки и взаимодействия с внешними программами обработки экспериментальных данных.

При постановке и проведении эксперимента необходимо учитывать, что применение ДСЧ в модели предопределяет на ее выходе за один прогон некоторый единичный случайный результат, по которому судить в целом о случайном процессе весьма проблематично. Для определения надежности и точности оценки воспользуемся рекомендациями, изложенными в работах [5, 6].

Учитывая, что случайная величина оценивается как минимум тремя параметрами: максимальным, минимальным и средним ее значениями, то оценка требует наличия некоторого объема статистики, от которого зависит точность ε и достоверность Q результата. Для подобных ситуаций в работе [5] получено соотношение, связывающее количество прогонов модели с параметрами (ε, Q) . При проведении исследований достаточно иметь оценку выходных параметров модели при $\varepsilon = 0,1$ и $Q = 0,95$, которые обеспечиваются объемом статистики, включающим результаты не менее чем 96 модельных реализаций.

Построение схемы ДСЧ опирается на рекомендации, предложенные в работе [7]. В процессе испытаний ДСЧ проверен на периодичность повторения генерируемых случайных чисел, наличие корреляции между разрядами, равномерность и отличие параметров закона распределения от требуемых.

Доведение имитационной модели до состояния рабочего инструмента требует реализации ее алгоритмов в некоторой программной среде, в качестве которой целесообразно использовать языки программирования высокого уровня с процедурной или объектно-ориентированной организацией функций, наследованием свойств и взаимодействия элементов модели. Модульно-блочный принцип организации модели и процедурный подход к разработке ее основных операторов обеспечивают возможность ее реализации практически в любой программной среде. Вместе с тем, опыт авторов моделирования систем и процессов [8-11] и разработки программ для ЭВМ [12-14] с точки зрения возможностей интерфейса «пользователь – ЭВМ» и гибкости при переходе от аналитических выражений к логическим функциям и операторам позволяет считать наиболее удобными для создания программного образа разработанной модели три основные среды: «DELFI», «Java» и «C++».

Детальная алгоритмизация модели как исходный этап в процессе разработки программы в некоторых случаях игнорировался, ввиду его нецелесообразности или невозможности представления алгоритма в блочно-знаковой форме.

Для диалогового режима работы пользователя с ЭВМ программа имеет ряд особенностей, основными из которых являются следующие:

- блок управления выполнен в виде группы переключателей, дополняющих раздел описания констант, что позволяет обеспечить быстрый выбор стратегии моделирования при постановке и проведении экспериментов;
- исходные данные сгруппированы по функциональному назначению и уровням ЭМВОС;

- переменные объединены в определенные группы, каждая из которых имеет свой идентификатор типа и соответствующий ему формат;
- итерационные процедуры дополнены счетчиками пошаговых реализаций с выводом информации на монитор, которые при зацикливании программы обеспечивают быстрый поиск причины конфликта на любом уровне (программном или исходных данных);
- вывод результатов в модели обеспечивается в двух форматах – табличном и графическом. С этой целью программа дополнена внутренним и имеет интерфейс с внешним модулем графики.

Проверка достоверности модели осуществлялась по трем направлениям: верификации (соответствия) разработанного алгоритма замыслу моделирования; адекватности модели оригиналу, чувствительности ее отклика к входным параметрам; точности, достоверности и устойчивости результатов моделирования. Анализ результатов, представленных в работах [2, 3, 6], показывает, что строго формализованных методов проверки математических моделей сложных систем в настоящее время не существует. Считается, что цель моделирования достигнута, если результаты экспериментов могут служить основанием для прогнозирования исследуемых явлений или принятия решений с заданной степенью точности. Для моделей подобного класса разрабатываются собственные процедуры проверки. В данном случае проверка осуществлялась путем постановки и проведения серии тестовых экспериментов на ЭВМ.

На программном уровне верификация модели обеспечена встроенным в программную среду компилятором и дополнительными процедурами, которые обеспечивают контроль синтаксических, семантических, логических и смысловых ошибок.

Для проверки математической схемы модели разработана специальная процедура, включающая в себя ряд неформальных приемов верификации. Основными из них являются: замена случайного воздействия на детерминированное; присвоение переменным формата констант; проведение контрольных прогонов модели при тестовых исходных данных, приводящих к получению априори известного результата; проведение испытаний при предельных значениях параметров модели с проверкой результатов на предмет уточнения начальных условий моделирования и границ применимости модели.

Адекватность модели достигнута обоснованным подбором ее параметров, согласованных с параметрами МЦП в трактах действующих линий связи и их калибровкой в процессе испытаний.

Проверка чувствительности реакции модели на изменение входных параметров произведена обычным порядком посредством варьирования одного параметра МЦП при фиксации остальных. Оценка точности и достоверности результатов моделирования обеспечена путем их сравнения при различных объемах статистической выборки. При этом экспериментальные данные соответствуют расчетным значениям. Открытая архитектура модели и блочный способ организации позволяют дополнять ее математическую схему новыми функциями.

Выводы

Представленная в работе модель позволяет имитировать мультиплексированный цифровой поток как последовательность двоичных векторов, отображающих многосвязную цепь Маркова. При этом параметры, определяющие связность цепи Маркова и количество интервалов для значений вероятностей в группах векторов заданной длины, задают точность отображения статистических свойств моделируемого ДСП. Базовой моделируемой единицей является бит информации. Переход в сторону реквизитов и характеристик битовой последовательности обеспечивается за счет манипулирования исходными данными, контроля и оценки параметров промежуточных результатов моделирования. Один прогон модели обеспечивает на ее выходе одну реализацию состояния моделируемого цифрового потока.

Модульно-блочный принцип организации модели и процедурный подход к разработке ее основных операторов обеспечивают реализацию модели практически в любой программной среде.

Проверка достоверности модели обеспечена по трем направлениям: верификации (соответствия) разработанных алгоритмов замыслу моделирования; адекватности моделируемого случайного процесса реальному цифровому потоку на выходе источника сообщений, чувствительности ее отклика к входным параметрам; точности, достоверности и устойчивости результатов моделирования.

Литература

1. Иванов В. А. Двоичные цепи Маркова и их приложения: монография / М.Ю. Коньшев, В.А. Иванов, В.А. Глускин и др. – Москва: МИРЭА – РТУ, 2020. – 184 с.
2. Шеннон Р. Имитационное моделирование систем – искусство и наука. – Москва: Мир, 1988. – 420 с.
3. Максимей И. В. Имитационное моделирование на ЭВМ. – Москва: Радио и связь, 1988. – 232 с.
4. Иванов В. А. Метод направленного перебора рядов распределений в задачах моделирования марковских двоичных последовательностей / Д. Л. Беляев., В. И. Близнюк, В. А. Иванов и др. // Промышленные АСУ и контроллеры. № 5. 2015. С. 47-51.
5. Советов Б. Я. Яковлев С. А. Моделирование систем. – Москва: Высшая школа, 1985. – 271с.
6. Бусленко Н. П. Моделирование сложных систем. – Москва: Наука, 1978. – 399 с.
7. Кнут Д. Искусство программирования для ЭВМ. Получисленные алгоритмы. Т. 2. – Москва: Мир, 1977. – 723 с.
8. Иванов В. А., Двилянский А. А., Радаев С. В. и др. Математическая модель стегосистемы, инвариантная к стандарту изображения // Промышленные АСУ и контроллеры. 2014. № 11. С. 21-27.
9. Иванов В. А., Двилянский А. А., Корнилов А. А. Модель маскирующей помехи на основе мод речевого сигнала // Промышленные АСУ и контроллеры. 2016. № 2. С. 47-52.
10. Иванов В. А., Двилянский А. А., Рытов М. Ю. Математическая модель состояния сетей и узлов связи в алгебраическом пространстве тензорного поля при их поражении электромагнитным импульсом // «Интеллектуальные системы в производстве. ISSN 1813 – 7911. Т. 21, № 2». – Ижевск: УИР «ИжГТУ», 2023. – С. 102-109.
11. Иванов В. А., Коньшев М. Ю., Маркин А. В. Концептуальная модель источника сообщений на выходе мультимплексора для исследования свойств двоичного потока в процедурах сжатия данных. // Техника средств связи. 2022. № 1 (157). С. 61-68. DOI 10.24412/2782- 2141-2022-1-61-68.
12. Иванов В. А., Иванов И. В., Маркин А. В. и др. Симулятор цифрового потока двоичных векторов по закону Марковского случайного процесса «EMU_Model_Digit_Flow» // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ. № 2023618907 от 02.05.2023.
13. Иванов В. А., Иванов И. В., Маркин А. В. и др. Идентификатор участков локальной стационарности в мультиплексированном цифровом потоке «EMU_Ident_Loc_Station» // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ. № 2023619446 от 11.05.2023.
14. Иванов В. А., Иванов И. В., Зотов Д. С. Имитационная модель скремблера и дескремблера // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ. № 2023685725 от 29.11.2023.

References

1. Konyshchev M. Yu., Ivanov V A., Gluskin V. A. et al. *Markov binary chains and their applications: monograph* [Markov binary chains and their applications: monograph]. Moscow. MIREA – RTU Publ., 2020. 184 p. (In Russian)
2. Shannon R. *Simulation modeling of systems – art and science* [Simulation modeling of systems - art and science]. Moscow. Mir Publ., 1988. 420 p. (In Russian)
3. Maksimey I. V. *Computer simulation* [Computer simulation]. Moscow. Radio and Communications, 1988. 232 p. (In Russian)
4. Belyaev D. L., Bliznyuk V. I., Ivanov V. A. et al. *Method of directional enumeration of distribution series in modeling problems of Markov binary sequences* [Method of directional enumeration of

distribution series in modeling problems of Markov binary sequences]. Industrial automated control systems and controllers. 2015. No. 5. Pp. 47-51. (In Russian)

5. Sovetov B. Ya., Yakovlev S. A. *Modeling of systems* [Modeling of systems]. Moscow. Higher School. 1985. – 271 p. (In Russian)

6. Buslenko N. P. *Modeling of complex systems* [Modeling of complex systems]. Moscow. Nauka Publ., 1978. 399 p. (In Russian)

7. Knut D. *The art of computer programming. The calculated algorithms. Vol.2* [The art of computer programming. The calculated algorithms. Vol. 2]. Moscow. Mir Publ., 1977. 723 p. (In Russian)

8. Ivanov V. A., Dviliansky A. A., Radaev S. V. *Mathematical model of a stegosystem invariant to the image standard* [Mathematical model of a stegosystem invariant to the image standard]. Industrial automated control systems and controllers. 2014. № 11. P. 21-27. (In Russian)

9. Ivanov V.A., Dviliansky A. A., Kornilov A. A. *Masking interference model based on speech signal modes* [Masking interference model based on speech signal modes]. Industrial automated control systems and controllers. 2016. No. 2. Pp. 47-52. (In Russian)

10. Ivanov V. A., Dviliansky A. A., Rytov M. Yu. *Mathematical model of the state of networks and communication nodes in the algebraic space of a tensor field when they are affected by electromagnetic radiation impulse* [Mathematical model of the state of networks and communication nodes in the algebraic space of a tensor field when they are affected by electromagnetic radiation impulse]. "Intelligent systems in production". ISSN 1813–7911, vol. 21, No. 2". Izhevsk. UIR "IzhSTU, 2023. Pp. 102-109. (In Russian)

11. Ivanov V. A., Konyshchev M. Y., Markin A. V. A conceptual model of a message source at the output of a multiplexer for studying the properties of a binary stream in data compression procedures. Means of Communication Equipment. 2022. No. 1 (157). Pp. 61-68. DOI 10.24412/2782-2141-2022-1-61-68. (in Russian).

12. Ivanov V. A., Ivanov I. V., Markin A. V. and others. *Simulator of digital flow of binary vectors according to Markov's law of random process "EMU_Model_Digit_Flow"* [Simulator of digital flow of binary vectors according to Markov's law of random process "EMU_Model_Digit_Flow"]. Certificate of registration of the computer program. No. 2023618907, 05.02.2023. (In Russian)

13. Ivanov V. A., Ivanov I. V., Markin A. V. and others. *Identifier of local stationarity sites in the multiplexed digital stream "EMU_Ident_Loc_Station"* [Identifier of local stationarity sites in the multiplexed digital stream "EMU_Ident_Loc_Station"]. Certificate of registration of the computer program. No. 2023619446, 05.11.2023. (In Russian)

14. Ivanov V. A., Ivanov I. V., Zotov S. D. and others *Simulation model scrambler and descrambler* [Simulation model scrambler and descrambler]. Certificate of registration of the computer program. No. 2023685725, 11.29.2023. (In Russian)

Статья поступила 12 марта 2024 г.

Информация об авторах

Иванов Владимир Алексеевич – доктор военных наук, профессор, главный специалист ФГУП «НТЦ «ОРИОН». Область научных интересов: проектирование сетей подвижных средств многоканальной радиосвязи. Тел.: +7 926 474 78 12, E-mail: iva.mac@mail.ru. Адрес: 127018, г. Москва, ул. Образцова, д. 38, стр.1.

Иванов Иван Владимирович – доктор технических наук, директор компании «Психодинамика». Область научных интересов: проектирование сетей подвижных средств многоканальной радиосвязи. Тел.: +7 926 474 78 12, E-mail: iva.mac@mail.ru. Адрес: 127018, г. Москва, ул. Образцова, д. 38, стр.1.

Акимов Эмиль Муратович – инженер ФГУП «НТЦ «ОРИОН». Область научных интересов: проектирование сетей подвижных средств многоканальной радиосвязи. Тел.: +7 915 445 62 83, E-mail: iva.mac@mail.ru. Адрес: 127018, г. Москва, ул. Образцова, д. 38, стр.1.

Егоров Максим Викторович – аспирант. Область научных интересов: проектирование сетей подвижных средств многоканальной радиосвязи. Тел.: +8 926 544 14 76, E-mail: iva.mac@mail.ru. Адрес: 127018, г. Москва, ул. Образцова, д. 38, стр.1.

A simulation model of a multiplexed digital stream in the transceiver paths of mobile multichannel radio communication networks

V. A. Ivanov, I. V. Ivanov, E. M. Akimov, M. V. Egorov

Annotation: A simulation model of a digital stream developed according to a block-modular scheme involving Markov circuits is presented. The dynamics of events is initialized in time by generating the duration of local stationarity sections on which the probability of distribution of a binary random variable retains a constant value. The novelty of the work consists in the fact that to generate a digital stream, the Markov circuit apparatus, random values of initial quantities specified in certain ranges, and the author's method of directional enumeration, taking into account restrictions on the ranges of variation in the probabilities of multidimensional discrete random variables, are consistently used. **The novelty lies:** It consists in the fact that in order to generate a digital stream, the Markov circuit apparatus, random values of initial quantities specified in certain ranges, and the author's method of directional enumeration are used in a consistent manner, taking into account restrictions on the ranges of variation in the probabilities of multidimensional discrete random variables. **The practical significance lies:** it consists in the possibility of using the model to configure domestic and foreign equipment that expands the capabilities of mobile multichannel radio communication networks

Keywords: random number sensor, simulation model, Markov process, multiplexed digital stream, Markov chain, local stationarity site.

Information about Authors

Ivanov Vladimir Alekseevich – Doctor of Military Sciences, Professor, chief specialist of FSUE "STC "ORION". Research interests: designing networks of mobile means of multichannel radio communication. Tel.: +7 926 474 78 12, E-mail: iva.mac@mail.ru.

Ivanov Ivan Vladimirovich – Doctor of Technical Sciences, Director of the Psychodynamics company. Research interests: designing networks of mobile means of multichannel radio communication. Tel.: +7 926 474 78 12, E-mail: iva.mac@mail.ru.

Akimov Emil Muratovich, engineer of FSUE "STC "ORION". Research interests: designing networks of mobile means of multichannel radio communication. Tel.: +7 915 445 62 83, E-mail: iva.mac@mail.ru.

Egorov Maxim Viktorovich is a graduate student. Research interests: designing networks of mobile means of multichannel radio communication. Tel.: +8 926 544 14 76, E-mail: iva.mac@mail.ru Address: 127018, Moscow, Obraztsova str., 38, build. 1.

Для цитирования: Иванов В. А., Иванов И. В., Акимов Э. М., Егоров М. В. Имитационная модель мультиплексированного цифрового потока в приемопередающих трактах сетей подвижных средств многоканальной радиосвязи // Техника средств связи. 2024. № 1 (165). С. 39-48. DOI: 10.24412/2782-2141-2024-1-39-48.

For citation: Ivanov V. A., Ivanov I. V., Akimov E. M., Egorov M. V. A simulation model of a multiplexed digital stream in the transceiver paths of mobile multichannel radio communication networks. Means of Communication Equipment. 2024. No. 1 (165). Pp39-48. (in Russian). DOI:10.24412/2782-2141-2024-1-39-48.

СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

УДК 621.317

DOI: 10.24412/2782-2141-2024-1-49-58

Алгоритм формирования значений параметров опорной сети передачи данных автоматизированной системы управления специального назначения

Шаблюк С. М.

Аннотация. Постановка задачи: одной из определяющих компонент автоматизированной системы управления специального назначения является опорная сеть передачи данных. Учитывая, что в настоящее время автоматизированные системы управления активно развиваются и для многих из них опорная сеть передачи данных отсутствует, становится актуальной задача разработки методического аппарата определения базовых свойств сети передачи данных для обеспечения обменом информацией в определенных направлениях связи с заданными вероятностно-временными характеристиками. **Цель работы** – разработка алгоритма, позволяющего на начальной стадии разработки определить существенные свойства сети. **Используемые методы:** экспертный анализ, методы теории телетрафика, аналитическое моделирование, имитационное моделирование. **Новизна работы** заключается в комплексном применении различных методов (экспертных методов, аналитического моделирования, имитационного моделирования) для формирования набора базовых свойств проектируемой опорной сети передачи данных на начальном этапе работы. **Результат:** разработан алгоритм, который позволяет обоснованно получить значения основных параметров опорной сети передачи данных автоматизированной системы управления специального назначения и включает в себя: методику расчета нагрузки в каналах опорной сети, методику формирования параметров автоматизированной системы управления специального назначения с применением аналитической модели на основе методов теории телетрафика (количество узлов сети, количество каналов между узлами, скорость передачи в каналах сети, топология сети, требуемая надежность аппаратуры, вероятность доведения (вероятность потерь) в направлениях связи за заданное время), методику верификации полученных значений с применением имитационной модели на языке grps. **Практическая значимость** состоит в том, что применение данного алгоритма на начальных этапах разработки системы позволяет адекватно оценить характеристики будущей системы и корректно задать требования к разработке ее элементов. Это, в свою очередь, обеспечит соответствие результатов разработки заданным требованиям на этапе комплексирования за счет учета системных свойств на ранних этапах.

Ключевые слова: автоматизированная система управления специального назначения, аналитическая модель, имитационная модель, нагрузка в сети передачи данных, опорная сеть передачи данных.

Введение

При построении автоматизированных систем управления специального назначения (АСУ СН) одной из определяющих компонент является опорная сеть передачи данных. Учитывая, что аналогичная сеть во многих случаях в настоящее время отсутствует, становится актуальной задача разработки методического аппарата определения базовых свойств сети передачи данных АСУ СН для обеспечения обменом информацией в определенных направлениях связи с заданными вероятностно-временными характеристиками (ВВХ). К существенным свойствам сети относятся [7]:

- количество узлов сети;
- количество каналов между узлами;
- скорость передачи в каналах сети;
- топология сети;
- требуемая надежность аппаратуры;
- вероятность доведения (вероятность потерь) в направлениях связи за заданное время.

1. Основные шаги алгоритма и формирование набора исходных данных для моделирования

Основные шаги предлагаемого алгоритма приведены на рис. 1.

Решение задачи расчета нагрузки в узлах и каналах опорной сети производится экспертно-аналитическим методом. На первом шаге определяется количество узлов сети, их размещение и зоны покрытия.

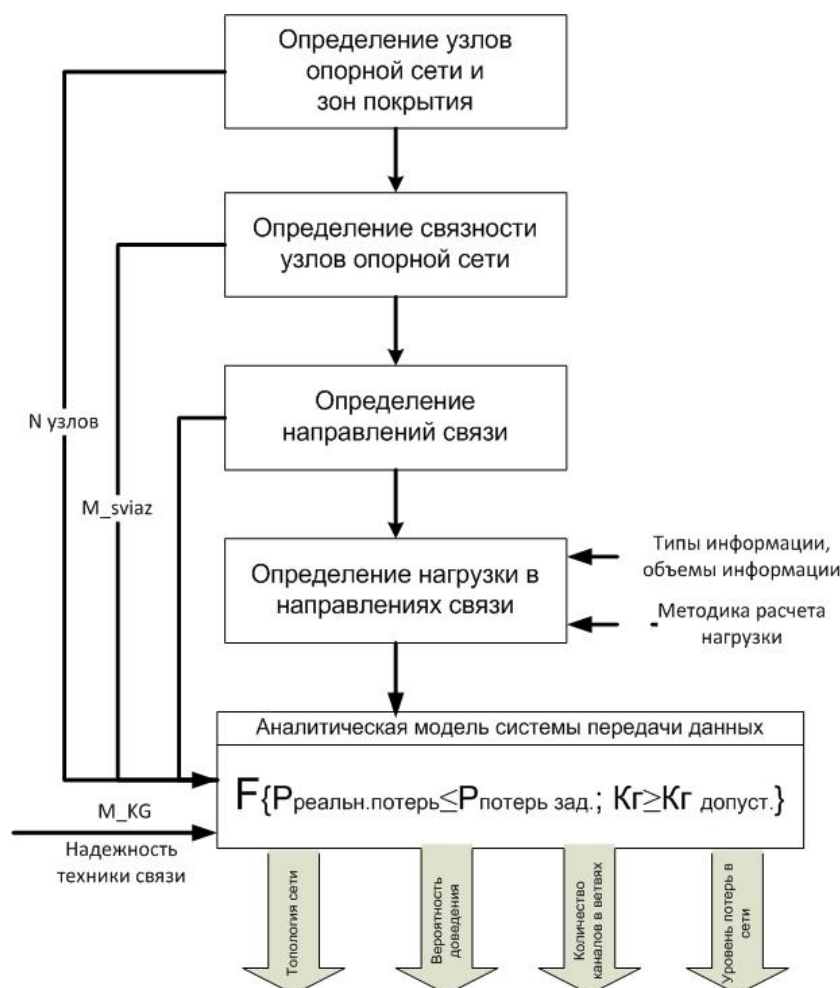


Рис. 1. Основные этапы алгоритма формирования значений параметров опорной сети АСУ СН

Для тестового примера принято расположение ретрансляторов опорной сети, приведенное на рис. 2. Объем нагрузки рассчитывается исходя из возможного трафика сети в часы наибольшей нагрузки.

Из этой структуры сети можно получить матрицу связности сети (M_{sviaz}), приведенную на рис. 3. Анализ направлений информационного обмена позволяет сформировать матрицу направлений связи (рис. 4).

В табл. 1-4 приведены примеры результатов расчета для часа наибольшей нагрузки в прямом и обратном направлениях при разных скоростях передачи в канале.

Исходные данные для расчетов в табл. 1-4 являются демонстрационными. Из таблиц можно выявить наиболее нагруженные варианты. В приведенном примере для каналов СДВ и ДВ (табл. 1-2) максимальная нагрузка в сети возникает для информации типов 3, 4. Для больших объемов информации нагрузка в медленных каналах существенно выше (табл. 3-4).

Полученные результаты могут быть использованы как входные данные для модели, позволяющей определить наилучшие параметры сети передачи данных.



Рис. 2. Вариант расположения ретрансляторов опорной сети

узел/узел	1	2	3	4	5
1	0	1	0	1	0
2	1	0	1	1	1
3	0	1	0	0	1
4	1	1	0	0	1
5	0	1	1	1	0

Рис. 3. Исходная матрица связности узлов сети (M_{sziaz})

узел/узел	1	2	3	4	5
1	0	1	1	1	1
2	1	0	0	0	0
3	1	0	0	0	0
4	1	0	0	0	0
5	1	0	0	0	0

Рис. 4. Матрица направлений связи

Таблица 1 – Пример расчета нагрузки в канале опорной сети
при передаче командной информации по каналам СДВ-ДВ (скорость 250 бод)

Типы информации	Объем (кол-во частей) в одном сообщении (в среднем)	Кол-во повторов	Объем одного сообщения, байт	Время передачи одного сообщения, сек	Количество сообщений в час	Нагрузка, Эрл	Суммарная нагрузка в НС, Эрл	Вероятность доведения в НС
Тип 1	3	5	7 200	28,80	20	0,1600	0,2000	0,999
Тип 2	3	5	7 200	28,80	5	0,0400		
Тип 3	2	5	4 800	19,20	25	0,1333	0,2933	
Тип 4	3	5	7 200	28,80	20	0,1600		

Таблица 2 – Пример расчета нагрузки в канале опорной сети
при передаче командной информации по каналам ДВ (скорость 1000 бод)

Типы информации	Объем (кол-во частей) в одном сообщении (в среднем)	Кол-во повторов	Объем одного сообщения, байт	Время передачи одного сообщения, сек	Количество сообщений в час	Нагрузка, Эрл	Суммарная нагрузка в НС, Эрл	Вероятность доведения в НС
Тип 1	3	5	7200	7,20	20	0,0400	0,0500	0,999
Тип 2	3	5	7200	7,20	5	0,0100		
Тип 3	2	5	4800	4,80	25	0,0333	0,0733	
Тип 4	3	5	7200	7,20	20	0,0400		

Таблица 3 – Пример расчета нагрузки в канале опорной сети
при передаче информационных массивов по каналам СДВ-ДВ (скорость 250 бод)

Типы информации	Объем (кол-во частей) в одном сообщении (в среднем)	Кол-во повторов	Объем одного сообщения, байт	Время передачи одного сообщения, сек	Количество сообщений в час	Нагрузка, Эрл	Суммарная нагрузка в НС, Эрл	Вероятность доведения в НС
Массивы информации	-	-	300000	1200	1	0,3333	0,3333	0,99

Таблица 4 – Пример расчета нагрузки в канале опорной сети
при передаче информационных массивов по каналам ДВ (скорость 1000 бод)

Типы информации	Объем (кол-во частей) в одном сообщении (в среднем)	Кол-во повторов	Объем одного сообщения, байт	Время передачи одного сообщения, сек	Количество сообщений в час	Нагрузка, Эрл	Суммарная нагрузка в НС, Эрл	Вероятность доведения в НС
Массивы информации	-	-	300000	300	1	0,0833	0,0833	0,99

2. Аналитическое моделирование для формирования основных параметров опорной сети

Для обоснования значений параметров опорной сети проектируемую систему можно представить как многоканальную систему массового обслуживания (СМО) с отказами в обслуживании с коммутацией каналов [6]. Схематично функционирование каждого канала узла сети можно представить как изображено на рис. 5 [5].

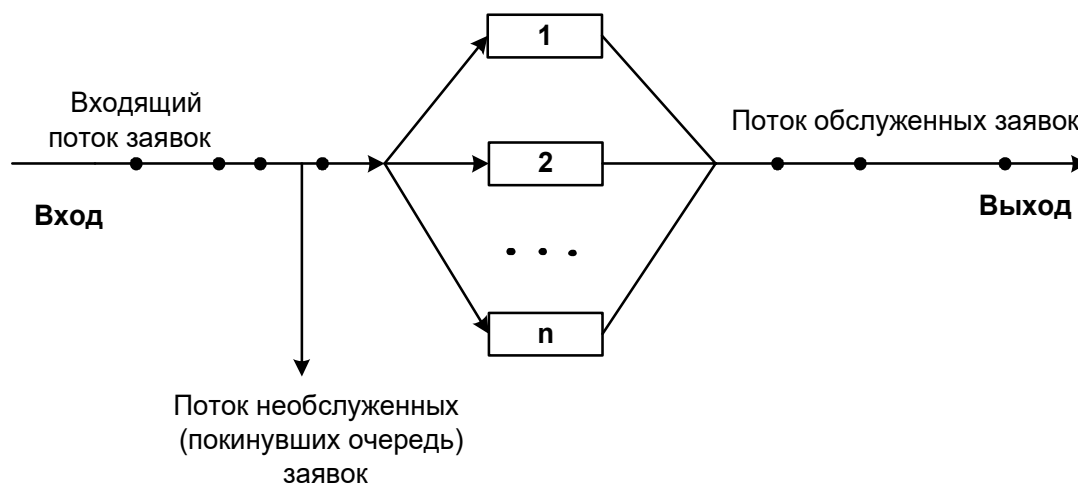


Рис. 5. Схема функционирования узла системы передачи данных, как СМО с отказами

Задача ставится так: имеется n каналов (линий связи), на которые поступает поток заявок с интенсивностью λ . Поток обслуживаний каждого канала имеет интенсивность μ . Найти предельные вероятности состояний системы и показатели ее эффективности.

Формула предельной вероятности состояния будет выглядеть следующим образом [5]:

$$p_0 = \left(1 + \frac{\lambda}{\mu} + \frac{\lambda^2}{2!\mu^2} + \dots + \frac{\lambda^k}{k!\mu^k} + \dots + \frac{\lambda^n}{n!\mu^n} \right)^{-1},$$

где члены разложения $\frac{\lambda}{\mu}, \frac{\lambda^2}{2!\mu^2}, \dots, \frac{\lambda^n}{n!\mu^n}$ – коэффициенты при p_0 в выражениях для предельных вероятностей $p_1, p_2, \dots, p_n$.

В нашем случае модель опорной сети можно представить следующим образом (рис. 6):

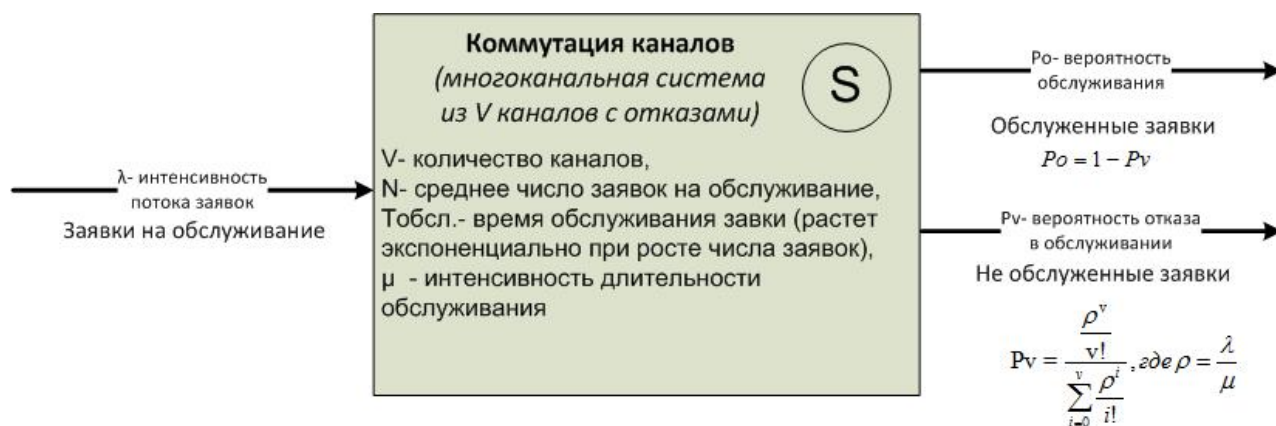


Рис. 6. Аналитическая модель опорной сети

При моделировании приняты следующие допущения:

- статическая маршрутизация - до трёх независимых маршрутов;

- время обслуживания заявки растет по экспоненциальному закону в зависимости от роста числа заявок;
- количество каналов и потери на ветвях определяются итерационной процедурой распределения нагрузки по ветвям по следующим правилам:
 - поступающая в направление связи (НС) нагрузка (Z) поступает на первую ветвь первого маршрута;
 - на вторую и далее ветви первого маршрута поступает нагрузка (Y), обслуженная на первой ветви первого маршрута;
 - на первую ветвь второго маршрута поступает нагрузка (P), потерянная на первой ветви первого маршрута.

Дополнительным параметром, рассматриваемым при моделировании, является надежность функционирования технических средств связи. Причиной отказа в обслуживании может быть не только занятость канала, но и выход из строя технических средств.

Примененная в рамках настоящего исследования аналитическая модель представляет собой программную реализацию системы массового обслуживания с отказами в обслуживании с коммутацией каналов.

Входными данными для нее служат полученные на предыдущих шагах результаты, а именно: исходная матрица связности, матрицы нагрузок, матрица допустимых потерь между узлами сети, матрицы допустимых коэффициентов готовности между узлами сети (K_r).

Описанная модель может быть реализована программно, что позволяет провести модельные эксперименты с разными исходными данными и оценить влияние отдельных характеристик сети передачи данных на ее ВВХ и определить для тестового примера набор существенных характеристик. Кроме того, на основе полученных результатов можно оценить зависимость требуемого количества каналов от скорости в канале для разных топологий, влияние скорости в канале связи на ВВХ сети, а также влияние требований к ВВХ сети на надежность аппаратуры.

2. Имитационное моделирование для проверки корректности полученных аналитическим путем параметров

Аналитическое моделирование может показать возможность обеспечения требуемых временных характеристик доведения информации управления в опорной сети. Достоверность полученных путем аналитического моделирования результатов может быть оценена путем имитационного моделирования.

Например, в качестве инструментария моделирования широко применим язык *GPSS*. Исходными данными для моделирования послужат расчет нагрузки, выполненный на предыдущих этапах, и топология сети, полученная в результате аналитического моделирования. Для нашего примера модель предполагает передачу управляющей информации по прямому и обратному направлениям с наивысшим приоритетом плюс передачу по этим же каналам массивов информации объемом 2 килобайта с 10 повторами в час. Эквивалентная структура сети для имитационной модели приведена на рис 7, а математическая база на рис. 8.

Основные параметры для эксперимента:

- один блок – 480 бит;
- пакет – трехблочный – 180 байт;
- количество повторов (пакетов) – 2-5 (по $e^{(1-x)}$);
- сообщение (максимальная длина при 5 повторях) – 900 байт;
- скорость передачи – 1000 бит/с.

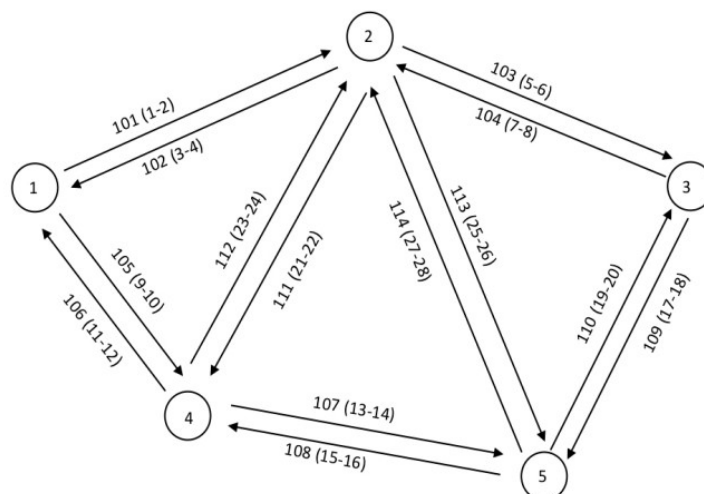


Рис. 7. Эквивалентная структура сети для имитационной модели



Рис. 8. Математическая база имитационной модели

Анализ результатов моделирования для нашего примера приведен на графиках, рис. 9, 10.

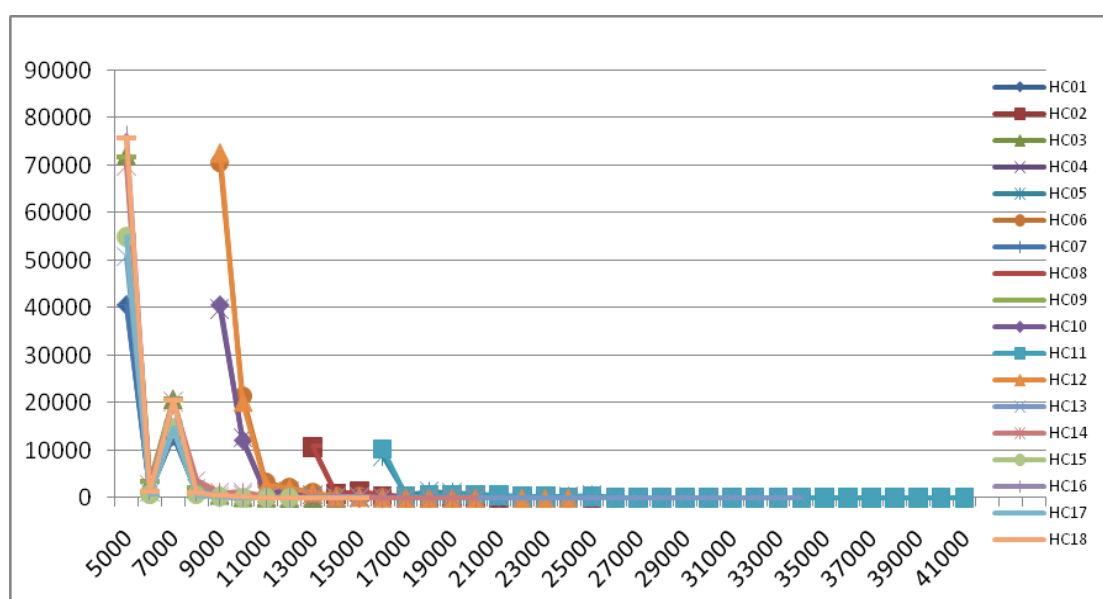


Рис. 9. График распределения количества сообщений по времени их доставки сообщений (по каналам)

Полученные аналитическим путем графики позволяют оценить вероятностно-временные характеристики проектируемой системы и сравнить их с заданными.

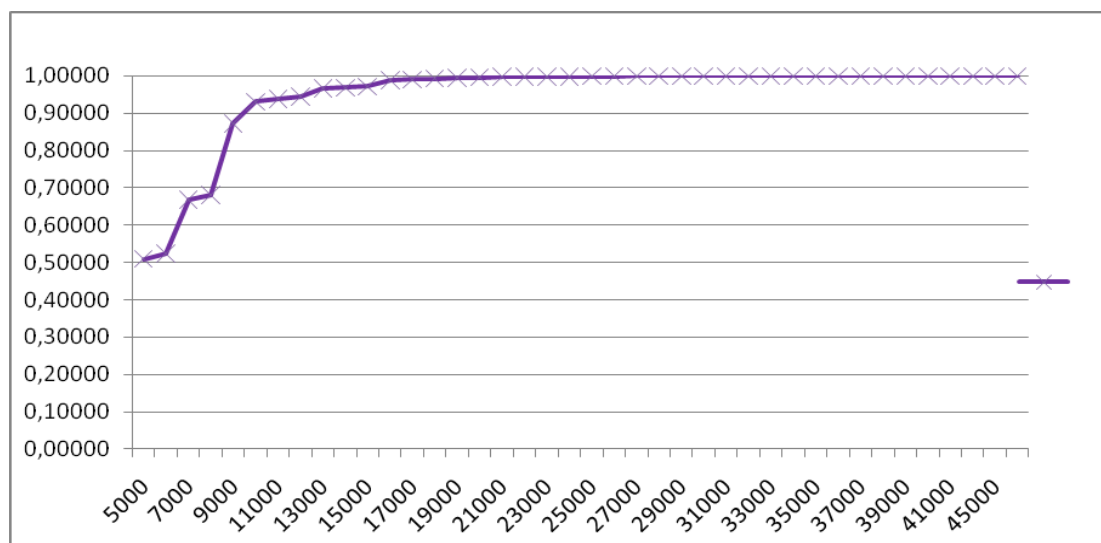


Рис. 10. График распределения вероятности доведения пакетов по времени

Заключение

Предлагаемый алгоритм комплексировывает известные ранее методики, основанные на теории телетрафика, теории массового обслуживания, экспертно-расчетных методах, методах имитационного и аналитического моделирования. Разработанный подход может быть применим как на ранних стадиях проектирования (при разработке и обосновании требований к элементам системы для обеспечения заданных требований к системе в целом), так и на стадиях конструирования при оценке влияния достигнутых при разработке результатов на итоговые результаты.

Литература

1. Прохоров С. А. Математическое описание и моделирование случайных процессов. – Самара: Самарский государственный аэрокосмический университет, 2001. – 209 с.
2. Вентцель Е. С., Овчаров Л. А. Теория вероятностей. – Москва: Наука, 1965. – 575 с.
3. Бенькович Е. С., Колесов Ю. Б., Сениченко Ю. Б. Практическое моделирование динамических систем. – СПб: БХВ-Петербург, 2002. – 464 с.
4. Саакян Г. Р. Теория массового обслуживания. – Шахты: ЮРГУЭС, 2006. – 28 с.
5. Пономарев Д. Ю. Теория телетрафика. Учебн. пособ. – Красноярск: СибГУ им. М. Ф. Решетнева, 2017. – 47 с.
6. Крылов В. В., Самохвалова С. С. Теория телетрафика и ее приложения. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 228 с.
7. Ермашиян А. Г. Теоретические основы построения систем связи: Учебник. Часть 1. Методологические основы построения организационно-технических систем связи. – СПб.: Питер, 2005.
8. Бушуев С. И., Осадчий А. С., Фролов В. М. Теоретические основы создания информационно-технических систем. — СПб.: ВАС, 1998.
9. Волкова В. Н., Денисов А. А. Теория систем и системный анализ. – М.: Юрайт, 2014. – 562 с.
10. Козичев В. Н., Протасов А. А., Ширманов А. В. Автоматизированные системы управления специального назначения. – М.: Новые авторы, 2019. – 214 с.
11. Литвиненко В. В., Урюпин В. Н., Солдатов А. Н. Методологические аспекты модернизации вооружения, военной и специальной техники. Технология решения задач модернизации образцов вооружения, военной и специальной техники // Военная мысль. 2018. №12. С. 64-71.

12. Матвиенко Ю. А. К вопросу об использовании методов эвристической самоорганизации при формировании множества приемлемых вариантов развития АСУ военного назначения // Стратегическая стабильность. 2022. №1 (98). С. 38-43.

References

1. Prokhorov S. A. *Matematicheskoe opisanie i modelirovanie sluchayny'x processov* [Mathematical description and modeling of random processes]. Samara. Samara State Aerospace University Publ., 2001. 209 p. (In Russian)
2. Ventzel E. S., Ovcharov L. A. *Teoriya veroyatnostey* [Probability theory]. Moscow. Science Publ., 1965. 575 p. (In Russian)
3. Benkovich E. S., Kolesov Yu. B., Senichenko Yu. B. *Prakticheskoe modelirovanie dinamicheskikh sistem* [Practical modeling of dynamic systems]. St. Petersburg. BHV-Petersburg Publ., 2002. 464 p. (In Russian)
4. Sahakyan G. R. *Teoriya massovogo obsluzhivaniya* [Queuing theory]. Shahti. 2006. 28 p. (In Russian)
5. Ponomarev D. Yu. *Teoriya teletrafika* [Theory of teletraffic]. Krasnoyarsk. Siberian State University named after. M.F. Reshetneva Publ., 2017. 47 p. (In Russian)
6. Krylov V. V., Samoxvalova S. S. *Teoriya teletrafika i ee prilozheniya* [Theory of teletraffic and its applications]. St. Petersburg. BHV-Petersburg Publ., 2005. 228 p. (In Russian)
7. Ermishyan A. G. *Teoreticheskie osnovy' postroeniya sistem svyazi. Chast' I. Metodologicheskie osnovy' postroeniya organizacionno-texnicheskikh sistem svyazi* [Theoretical foundations of building communication systems: Textbook. Part 1. Methodological foundations for constructing organizational and technical communication systems]. St. Petersburg. Peter Publ., 2005. (In Russian)
8. Bushuev S. I., Osadchiy A. S., Frolov V. M. *Teoreticheskie osnovy' sozdaniya informacionno-texnicheskikh sistem* [Theoretical foundations for creating information technology systems]. St. Petersburg. Military Academy of Communications Publ., 1998. (In Russian)
9. Volkova V. N., Denisov A. A. *Teoriya sistem i sistemny'j analiz* [Systems theory and systems analysis]. Moscow. Yurayt Publ., 2014. 562 p. (In Russian)
10. Kozichev V. N., Protasov A. A., Shirmanov A. V. *Avtomatizirovanny'e sistemy' upravleniya special'nogo naznacheniya* [Automated control systems for special purposes]. Moscow. New authors Publ., 2019. 214 p. (In Russian)
11. Litvinenko V. V., Uryupin V. N., Soldatov A. N. *Metodologicheskie aspekty' modernizatsii vooruzheniya, voennoy i special'noy tekhniki. Tekhnologiya resheniya zadach modernizatsii obrazczov vooruzheniya, voennoy i special'noy tekhniki* [Methodological aspects of modernization of weapons, military and special equipment. Technology for solving problems of modernization of weapons, military and special equipment]. *Voennaya my'sl'* [Military Thought]. 2018 No. 12, pp. 64-71. (In Russian)
12. Matvienko Yu. A. *K voprosu ob ispol'zovanii metodov e'vristicheskoy samoorganizatsii pri formirovanii mnozhestva priemly'x variantov razvitiya ASU voennogo naznacheniya* [On the issue of using heuristic self-organization methods in the formation of many acceptable options for the development of military automated control systems]. *Strategicheskaya stabil'nost'* [Strategic stability]. 2022. No. 1 (98). Pp. 38-43. (In Russian)

Статья поступила 27 марта 2024 г.

Информация об авторах

Шаблюк Станислав Маркович – заместитель главного конструктора по технической части- начальник КНЦ АО «НПО «Импульс». Кандидат технических наук, доцент. Область научных интересов: методология разработки автоматизированных систем управления специального назначения. Тел.: +7 (911) 245-39-36, E-mail: st_shabluk@mail.ru.

Адрес: Санкт-Петербург, Киришская ул., д.2, лит. А.

Algorithm for determining parameter values for the data transmission network of the special-purpose automated control system

S. M. Shablyuk

Annotation. Problem statement: one of the defining components of a special-purpose automated control system is a data transmission backbone network. Considering that automated control systems are currently actively developing and for many of them there is no reference data transmission network, the task of developing a methodological apparatus for determining the basic properties of a data transmission network to ensure the exchange of information in certain communication directions with specified probabilistic and temporal characteristics becomes urgent. **The purpose of the work** is to develop an algorithm that allows determining the essential properties of the network at the initial stage of development. **Methods used:** expert analysis, methods of the theory of telegraphy, analytical modeling, simulation modeling. **The novelty of the work** lies in the complex application of various methods (expert methods, analytical modeling, simulation modeling) to form a set of basic properties of the projected reference data transmission network at the initial stage of work. **Result:** an algorithm has been developed that allows us to reasonably obtain the values of the main parameters of the reference data transmission network of an automated special-purpose control system and includes: a methodology for calculating the load in the channels of the reference network, a methodology for forming parameters of an automated special-purpose control system using an analytical model based on the methods of telegraphic theory (the number of network nodes, the number of channels between nodes, the transmission rate in the network channels, the network topology, the required reliability of the equipment, the probability of transmission (probability of loss) in the communication directions for a given time), the methodology for verifying the obtained values using a simulation model in the gprss language. **The practical significance** lies in the fact that the application of this algorithm at the initial stages of system development makes it possible to adequately assess the characteristics of the future system and correctly set the requirements for the development of its elements. This, in turn, will ensure that the development results meet the specified requirements at the integration stage by taking into account system properties at early stages.

Keywords: automated control system for special purposes, analytical model, simulation model, load in the data transmission network, reference data transmission network.

Author information

Shablyuk Stanislav Markovich – Deputy Chief Designer for Technical Affairs JSC «SPA «Impuls» Candidate of Technical Sciences, Associate Professor. Research interests: automated combat control system design. Tel. +7 (911) 245-39-36, E-mail: st_shabluk@mail.ru.
Address: Russia, St.Petersburg, Kirishskaya st., 2.

Для цитирования: Шаблюк С. М. Алгоритм формирования значений параметров опорной сети передачи данных автоматизированной системы управления специального назначения // Техника средств связи. 2024. № 1 (165). С. 49-58. DOI: 10.24412/2782-2141-2024-1-49-58.

For citation: Shablyuk S. M. Algorithm for determining parameter values for the data transmission network of the special-purpose automated control system. Means of Communication Equipment. 2024. No. 1 (165). Pp. 49-58. (in Russian). DOI: 10.24412/2782-2141-2024-1-49-58.

Процесс управления несоответствиями в ходе организации рекламационной деятельности

Мегера Ю. А., Бурлаков А. А., Прищенко В. Н.

Аннотация. Рекламация в аспекте гражданско-правовых отношений представляет собой письменный документ, в котором потребитель сообщает обо всех несоответствиях поставленной продукции и оказанных услугах, их устранении, а также компенсации понесенных затрат, выплате неустойки за упущенную выгоду и иных штрафных санкциях. Рассмотрены процедуры, не регламентированные порядком принятия (непринятия) к учету рекламационных документов, при исполнении предприятиями оборонно-промышленного комплекса гарантийных обязательств при выполнении государственного оборонного заказа. **Актуальность:** как показывает практика, при внедрении и практическом применении нормативно-правовых актов Российской Федерации и документов по стандартизации оборонной продукции существуют риски, связанные с недостаточной определенностью некоторых терминов, процедур, не регламентированным порядком принятия (непринятия) к учету рекламационных документов. **Цель работы:** для объективной оценки процесса рекламационной деятельности необходимо определить порядок приема к учету рекламационных документов и распределить зоны ответственности между подразделениями Предприятия при работе с рекламациями. **Используемые методы:** анализ времени выполнения процесса, анализ потерь, возникающих при выполнении процесса, анализ потенциала автоматизации процесса. **Новизна:** обоснование процедуры принятия (непринятия) к учету рекламационных документов, при исполнении предприятиями оборонно-промышленного комплекса гарантийных обязательств при выполнении государственного оборонного заказа. **Результат:** представленный алгоритм должны быть проанализирован и положен в основу соответствующих управленческих решений, направленных на улучшение процесса рекламационной деятельности и взаимосвязанных процессов системы менеджмента качества. **Практическая значимость:** представлен алгоритм работы Предприятия по полученным несоответствиям продукции, определены процедуры принятия (непринятия) к учету рекламационных документов при различном характере и причинах выявленного дефекта.

Ключевые слова: гарантийные обязательства, контроль качества, подсистема технического обеспечения, рекламационная работа, стандартизация.

Введение

Рекламация в аспекте гражданско-правовых отношений представляет собой письменный документ, в котором потребитель сообщает обо всех несоответствиях поставленной продукции и оказанных услугах, их устранению, а также компенсации понесенных затрат, выплате неустойки за упущенную выгоду и иных штрафных санкциях [1].

Учитывая рост производственно-экономических условий предприятиям оборонно-промышленного комплекса (ОПК) необходимо постоянно наращивать свою конкурентоспособность на рынке услуг, повышая требования к качеству своей продукции.

В связи с этим существенное значение приобретает рекламационная деятельность, проводимая на предприятии при выпуске продукции и в частности, при выполнении государственных оборонных заказов (ГОЗ).

Как показывает практика, при применении нормативно-правовых актов Российской Федерации и документов по стандартизации существуют моменты, связанные с недостаточной определенностью некоторых терминов, процедур, не регламентированным порядком принятия (непринятия) к учету рекламационных документов, при исполнении предприятиями ОПК гарантийных обязательств по выполнению ГОЗ.

Примером этого является цитирование действующих государственных стандартов:

- 1) Государственный стандарт ГОСТ РВ 0015-002-2020 включает требования к системе менеджмента качества (далее – СМК), регламентированные ГОСТ Р ИСО 9001, и определяет дополнительные требования, отражающие специфику менеджмента качества на всех стадиях жизненного цикла военной продукции. Согласно

п. 8.5.1.11 при управлении технологическими процессами следует учитывать в том числе процент принятых от количества полученных рекламаций за отчетный период. Это значит, что мы можем разделять рекламации на принятые и непринятые. Само собой, термина «непринятая рекламация» нигде в ГОСТ РВ 0015-703-2019 нет, да он, в принципе и не нужен ввиду очевидности толкования.

2) Государственный стандарт ГОСТ РВ 0015-703-2019 в новом изложении понятие «не принять» рекламацию утратил. Согласно п. 4.12 потребитель не может предъявлять рекламацию в случаях:

- по истечению гарантийных обязательств на изделие;
- если обнаруженный дефект изделия явился результатом несоблюдения потребителем правил и условий эксплуатации, хранения и транспортирования, в том числе, если с изделия сняты пломбы.

3) Государственный стандарт ГОСТ РВ 1900-011-2021 сохранил возможность непринятия рекламации. Согласно п. 6.1.5 поставщик рекламацию не принимает:

- по истечению гарантийного срока эксплуатации корабля или изделия;
- если дефекты (отказы) изделий явился результатом несоблюдения потребителем правил и условий хранения, эксплуатации, технического и сервисного обслуживания, установленных в их эксплуатационной документации;
- если при обнаружении дефектов изделий получателем сняты заводские пломбы в нарушение требований эксплуатационной документации.

В данной статье будет рассмотрен порядок работы предприятия при получении уведомления о вызове представителя поставщика в процессе ведения рекламационной работы при выполнении ГОЗ.

1. Процедура инициирования рекламационной работы

Оформление уведомления о вызове представителя поставщика (УВПП) для участия в исследовании, определения причин и характера дефекта, составления рекламационного акта и устранения дефектов (восстановление исправного состояния) изделия являются обязательными, если иное не предусмотрено контрактом [2].

Процессы и последовательность их в общей структуре рекламационной деятельности должностных лиц, принимающих в этом участие, приведены на рис. 1 и полностью раскрывают организацию данного мероприятия. Но есть моменты, связанные с недостаточной определенностью некоторых процедур, не регламентированных нормативными документами, которые и будут нами рассмотрены более подробно.

2. Выявленное несоответствие – дефект не подтвердился

Одним из несоответствий, выявленных в процессе исследования изделия, определяется тем фактом, что дефект изделия не подтвердился (Б* рис. 1.2). Обязанность устранить дефекты изделия (вне зависимости от характера их возникновения) была возложена на поставщика в силу нормативного регулирования (ГОСТ РВ 0015-703), понесенные затраты на устранение неисправностей убытками не являются, а составляют расходы, понесенные поставщиком в период действия их гарантийных обязательств. Учитывая это, мы понимаем, что предприятие, при данном несоответствии, на восстановление работоспособного состояния изделия затрат не понесло, а расходы на проезд специалистов по УВПП соответствуют п. 5.1.5, п. 5.1.6 ГОСТ РВ 0015-703. Основным документом, регламентирующим взаимоотношения изготовителя и потребителя на всех стадиях жизненного цикла изделий, является договор, государственный контракт (контракт) на поставку. Поэтому считается важным и дальновидным шагом учитывать все нюансы эксплуатации изделия, его доставки (отправки) в ремонт (из ремонта), возмещение убытков при выявлении таких несоответствий как дефект не подтвердился или эксплуатационный дефект, еще при составлении договора, государственного контракта (контракта) на поставку

изделия потребителю. Отдельно необходимо учитывать ответственность при пуско-наладочных, наладочно-регулирующих работах до ввода изделия в эксплуатацию.

Порядок приема к учету рекламационных документов и распределение зоны ответственности между подразделениями предприятия при работе с УВПП показан на рис. 2.

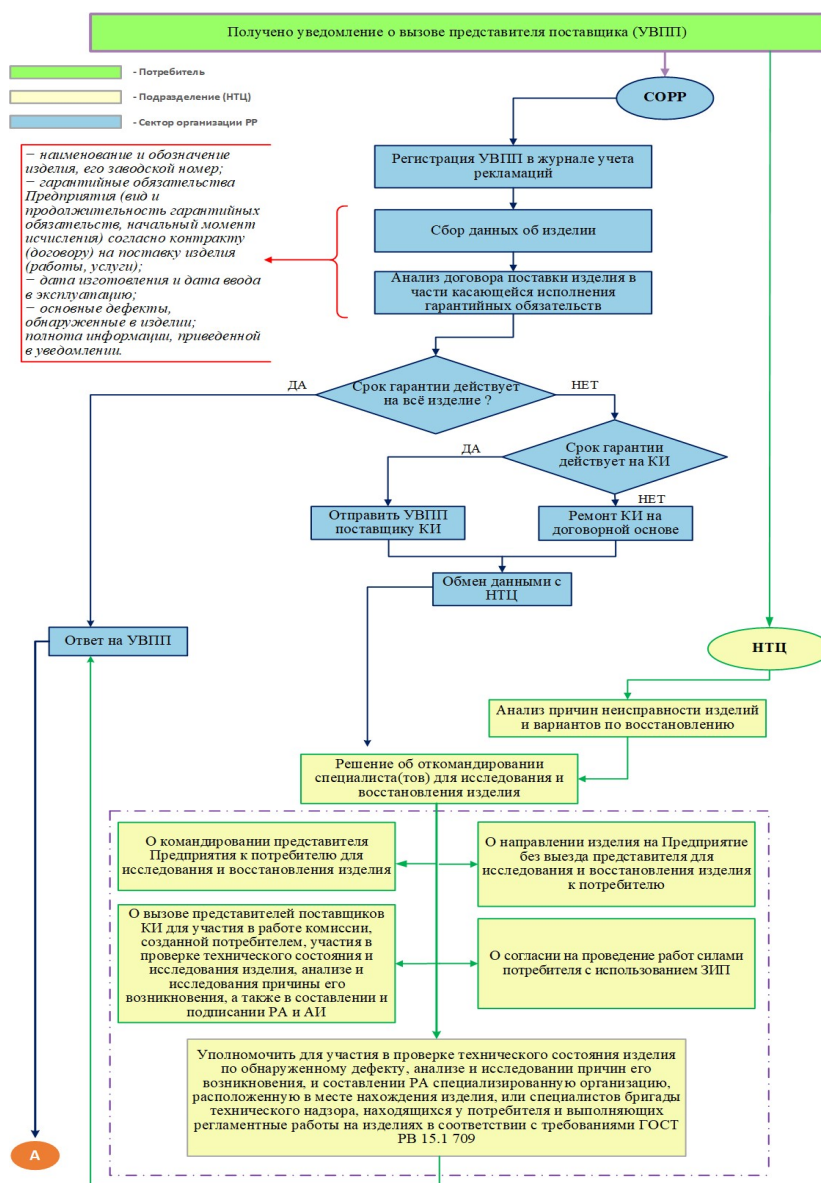


Рис. 1. Схема работы Предприятия при поступлении уведомления о дефекте

В нашем случае, после рассмотрения рекламационных документов (УВПП и рекламационного акта) и проведения необходимых мероприятий, согласно ГОСТ РВ 0015–703, направляем ответ потребителю, что Ваши документы нами рассмотрены и к учету не принимаются.

3. Выявленное несоответствие – эксплуатационный дефект

Рассмотрим действия должностных лиц, участвующих в рекламационной работе, в случае выявления эксплуатационного дефекта (Б** рис.1.2).

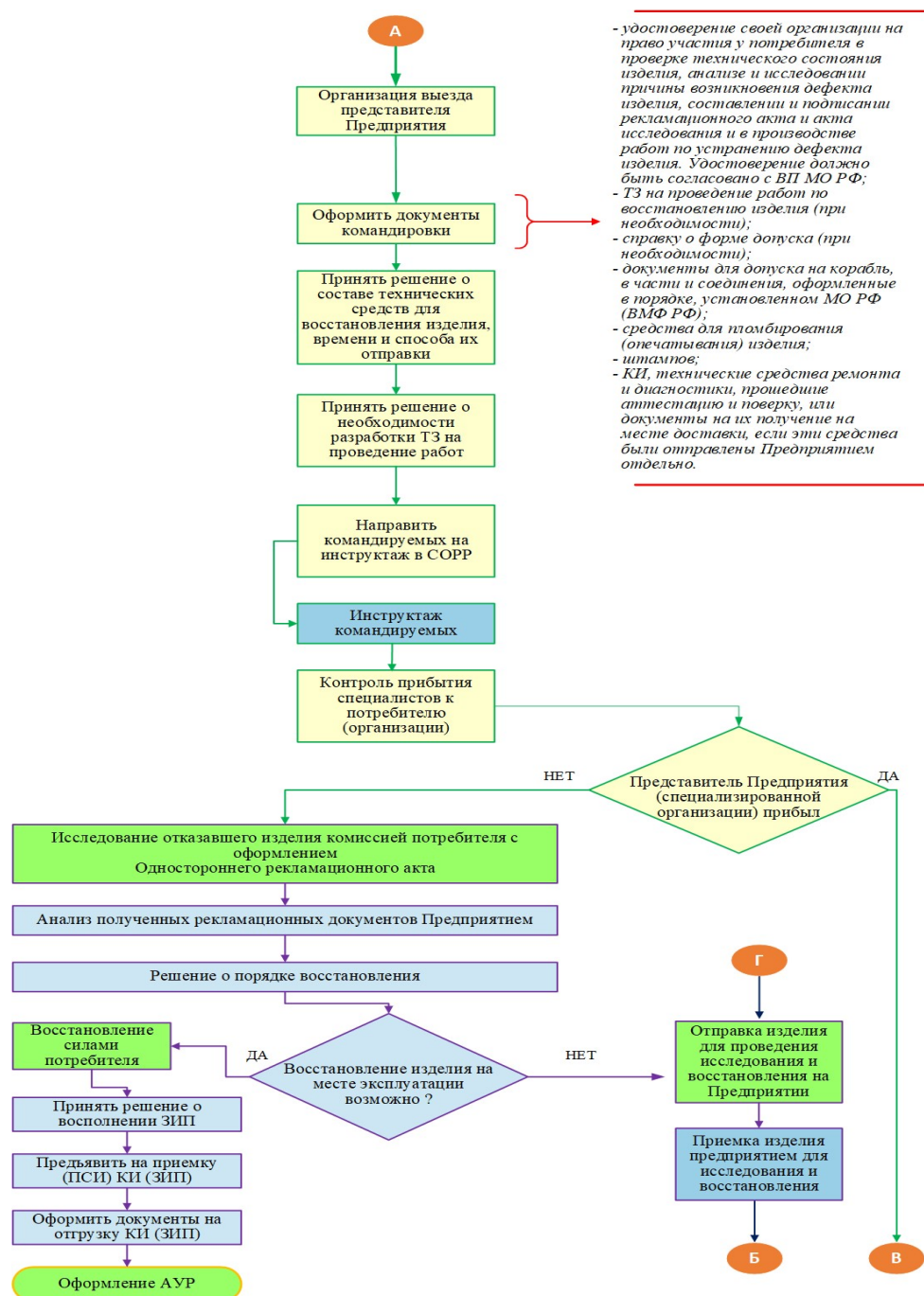


Рис.1.1. Продолжение схемы работы Предприятия при поступлении уведомления о дефекте

Возмещение расходов поставщику изделия и расчетов между заказчиком и поставщиком изделия за выявление эксплуатационного дефекта, устранение причин его возникновения, ремонт (восстановление исправного состояния) изделия (его комплектности) или замену дефектного изделия на новое, проведение подготовительных и заключительных операций (мероприятий), связанных с устранением эксплуатационного дефекта, определяется, в соответствии с п. 5.5.2 ГОСТ РВ 0015-703, в договоре, государственном контракте (контракте) на поставку или совместным решением заказчика и поставщика изделия, а в случае возникновения разногласий в оценке происхождения дефекта – в соответствии с п. 5.4.2 ГОСТ РВ 0015-703 [3].

Варианты устранения эксплуатационного дефекта показаны на рис. 3.

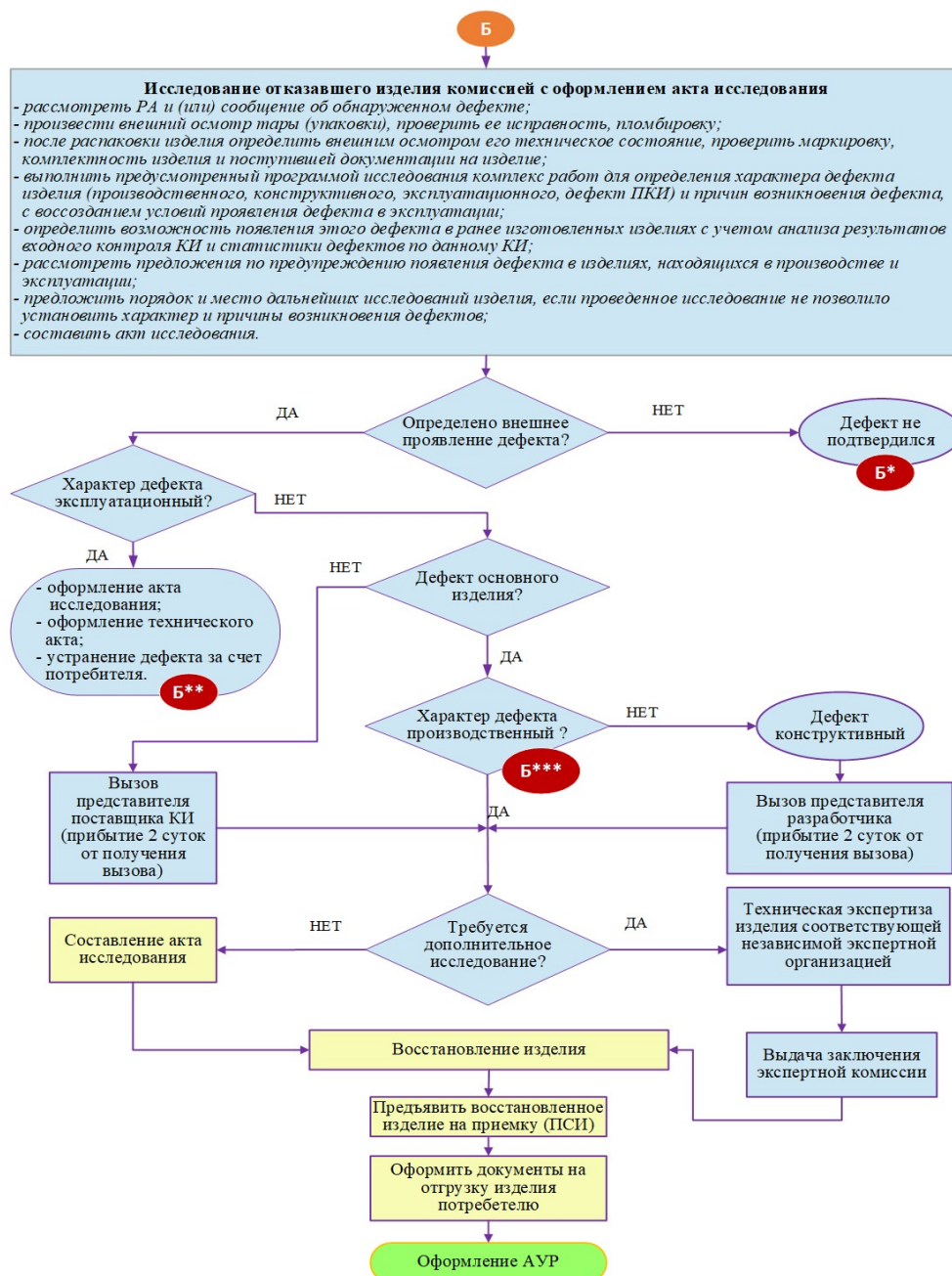


Рис. 1.2. Продолжение схемы работы Предприятия при поступлении уведомления о дефекте

Дополнительно ГОСТ Р 55754-2013 п. 7.3. Система гарантий изготовителя (поставщика) определяет порядок, следующий:

- обязанность потребителя при предъявлении претензий изготовителю (поставщику) к качеству изделий представлять доказательства соблюдения им установленных требований, условий и режимов;
- обязанность изготовителя (поставщика) представлять доказательства фактов нарушения потребителем требований к порядку проведения входного контроля, условий и режимов применения (эксплуатации), если изготовитель (поставщик) отклоняет претензии, предъявленные потребителем.

Согласно ст. 393 ГК РФ возмещение убытков является мерой гражданско-правовой ответственности, в связи с чем лицо, требующее их возмещения, должно доказать факт нарушения обязательства, наличие причинной связи между допущенным нарушением и возникшими убытками, а также их размер в соответствии со ст. 15 ГК РФ.

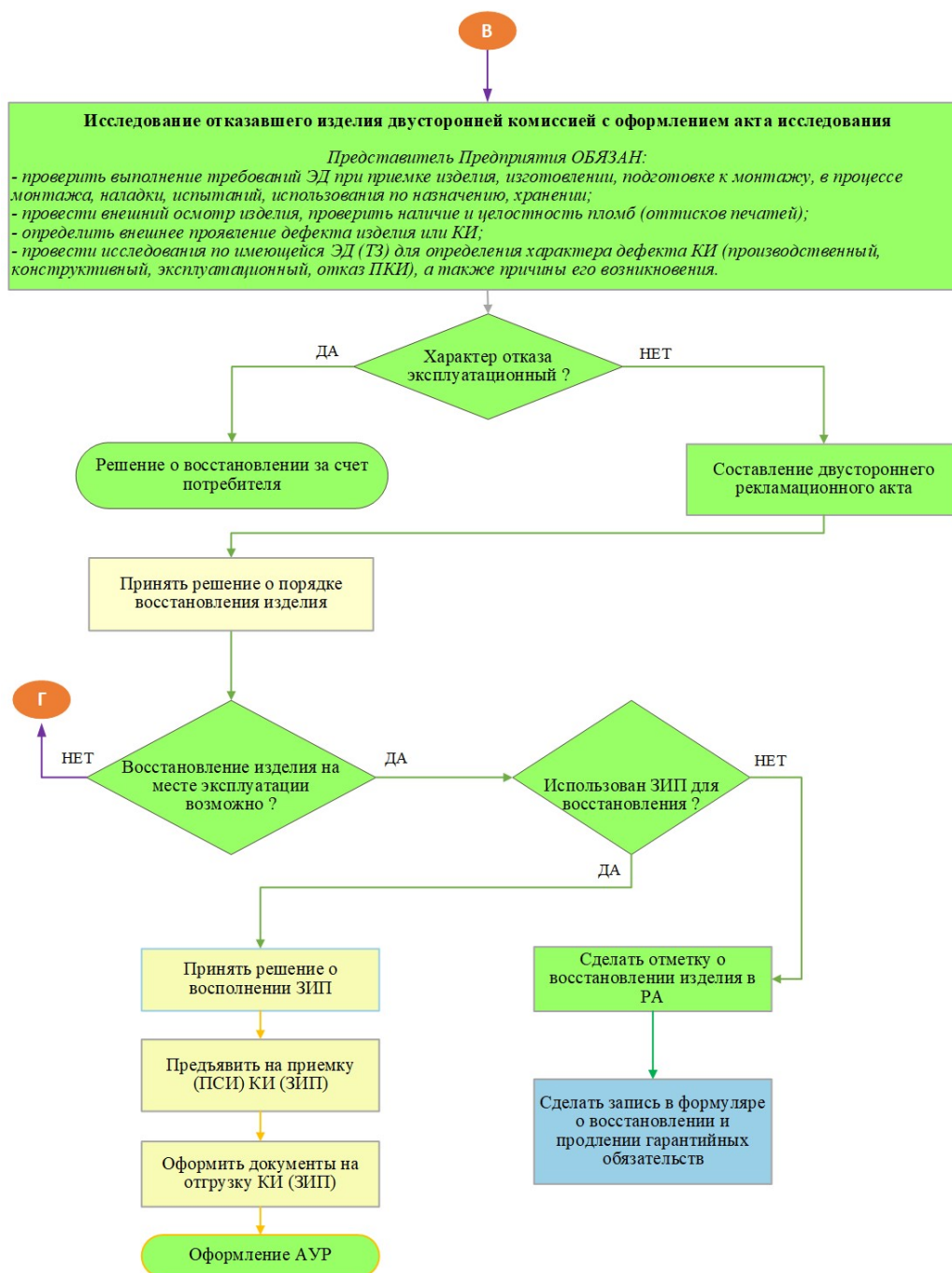


Рис. 1.3. Продолжение схемы работы Предприятия при поступлении уведомления о дефекте

Требую возмещения реального ущерба и упущенной выгоды, лицо, право которого нарушено, обязано доказать размер ущерба, причинную связь между ущербом и действиями лица, нарушившего право, а в случаях, когда законом или договором предусмотрена презумпция невиновности должника – также вину. Для установления причин и характера дефекта необходимо затребовать следующую информацию:

- какой пункт эксплуатационной документации был нарушен;
- режимы монтажа, схема подключения, подробные режимы эксплуатации (электрические, температурные, механические);
- информацию по переменной составляющей рабочего напряжения и импульсным режимам в схеме;
- осциллограммы снятые в момент включения и в процессе работы изделия;
- температуру и напряжение, при которых произошел отказ изделия;

- программу исследования;
- фотографии, отражающие несоответствия.

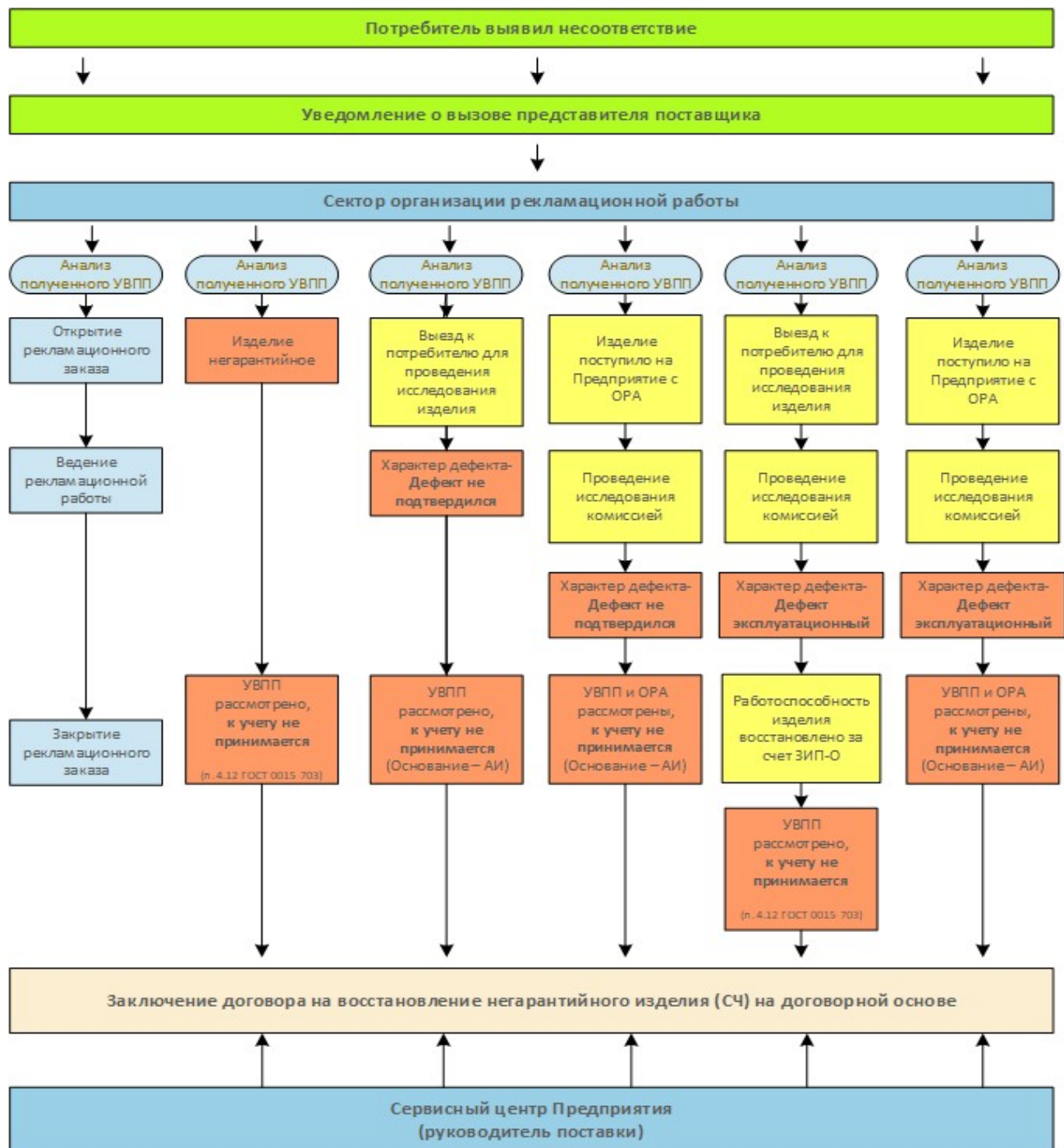


Рис. 2. Возможные варианты принятия (непринятия) рекламационных документов

Как ранее уже было сказано, обязанность устранить дефекты изделия (вне зависимости от характера их возникновения) была возложена на поставщика в силу нормативного регулирования (ГОСТ РВ 0015-703), понесенные затраты на устранение неисправностей убытками не являются, а составляют расходы, понесенные поставщиком в период действия их гарантийных обязательств, и последующее определение выявленных дефектов эксплуатационными правового значения для данного дела не имеет. О чем это говорит? Поставщик обязан прибыть к потребителю в ответ на уведомление о вызове представителя поставщика для участия в исследовании и определения характера и причины выявленного

несоответствия. При установлении характера несоответствия как эксплуатационный дефект, восстановление изделия происходит согласно схеме, указанной на рис. 4.



Рис. 3. Варианты устранения эксплуатационного дефекта



Рис. 4. Порядок восстановления изделия при эксплуатационном дефекте

Гарантийные обязательства на изделие приостанавливаются на время восстановления работоспособности изделия. При этом, рекламационный акт, в силу п. 4.12 ГОСТ РВ 0015-703 не составляется и работы в рамках требований ГОСТ РВ 0015–703 по уведомлению №111/111 от 11.03.2024, не могут быть продолжены. Дальнейшая работа осуществляется по заключенному договору на негарантийный ремонт изделия. После восстановления работоспособного состояния неисправных составных частей, проверки работоспособности изделия в целом, гарантийные обязательства восстанавливаются согласно эксплуатационной документации [4].

Следует учитывать, что восстановление изделия при возникновении дефектов изделия эксплуатационного характера не относится к мероприятиям по удовлетворении рекламаций, поскольку рекламация в таких случаях не предъявляется.

4. Выявленное несоответствие – производственный дефект

С несоответствием – производственный дефект, выявленном в процессе исследования изделия, мы встречаемся чаще всего (Б*** рис. 1.2).

На рис. 5 представлены варианты устранения производственного дефекта.

На что следует обратить внимание в первую очередь. Производственный дефект – это дефект изделия военной техники, обусловленный несовершенством технологической документации или отклонением от конструкторской и технологической документации, выявленный в процессе производства или эксплуатации изделия военной техники. Производственный дефект или дефект комплектующего изделия? Комиссией потребителя

определить вид дефекта в таком случае не представляется возможным. Согласно ГОСТ РВ 0015–703 п.5.3.3 если комиссия потребителя штатными техническими средствами не может установить характер и причины возникновения дефекта изделия, то решением комиссии, оформленным в рекламационном акте и согласованным с поставщиком изделия, потребитель в течение 10 суток отправляет поставщику изделие вместе с эксплуатационной документацией на него для дополнительного исследования, если иной срок и порядок не предусмотрены договором, государственным контрактом (контрактом).



Рис. 5. Варианты устранения производственного дефекта

При обнаружении в период действия гарантийных обязательств в изделии производственного дефекта, для устранения которого не требуется заводского ремонта или участия ремонтной бригады поставщика, потребитель вправе, согласовав с поставщиком объем и стоимость выполняемых работ, устранить дефект своими силами и средствами с последующим расчетом со стороны поставщика [5].

Вывод

Представленный процесс управления несоответствиями в ходе организации рекламационной деятельности должен быть проанализирован и положен в основу соответствующих управленческих решений, направленных на улучшение процесса рекламационной деятельности и взаимосвязанных процессов системы менеджмента качества.

Р.С. А как поступить, если потребитель отправил в наш адрес рекламацию, когда не имел права ее начинать, например, если дефекты изделия возникли по истечении гарантийных обязательств на изделие? Готовим ответ в адрес отправителя: «Уважаемый потребитель, вы не можете предъявлять рекламацию согласно п. 4.12 ГОСТ РВ 0015–703 и работы в рамках требований ГОСТ РВ 0015–703 по уведомлению №111/111 от 11.03.2024 не могут быть нами продолжены. Ваше изделие может быть нами восстановлено после заключения договора на негарантийный ремонт».

Литература

1. Марусов Д. В. Порядок проведения рекламационной работы: учебн. пособ. – СПб.: Балт. гос. технический университет. 2019. – 26 с.
2. Гарантийные обязательства и организация рекламационной работы при выполнении государственного оборонного заказа. Методическое пособие для специалистов организаций ОПК. Под ред. А. В. Рабышева. – Москва, 2022. – 180 с.
3. Прищенко В. Н., Мегера Ю. А., Бурлаков А. А. Риски при выполнении гарантийных обязательств предприятиями оборонной промышленности // Техника средств связи. 2023. №4(164). С. 33-38. DOI:10.24412/2782-2141-2023-4-33-38.

4. Ермаков В. Е., Бачинский А. Г., Иванова Т. И., Кириллов А.А. Теории менеджмента качества Филиппа Кросби и Джозеф Джуран // Форум молодых ученых. 2020. № 10 (50). С. 188–192.

5. Приказ Министра обороны Российской Федерации от 05 октября 2022 г. № 590. Об утверждении Руководства по организации рекламационной работы в Вооруженных Силах Российской Федерации / URL: <http://garant.ru/products/ipo> (дата обращения: 25.03.2024).

References

1. Marusov D. V. *Poryadok provedeniya reklamacionnoj raboty* [The procedure for conducting advertising work]. St. Petersburg. Balt. state technical university Publ., 2019. 26 p. (In Russian)

2. *Garantijny'e obyazatel'stva i organizaciya reklamacionnoj raboty pri vy'polnenii gosudarstvennogo oboronnoho zakaza. Metodicheskoe posobie dlya specialistov organizacij OPK. Pod red. A. V. Raby'sheva* [Warranty obligations and organization of claims work when fulfilling a state defense order. Methodological manual for specialists of defense industry organizations. Ed. A. V. Raby'sheva. Moscow. 2022. 180 p. (In Russian)

3. Prishchenko V. N., Megera Yu. A., Burlakov A. A. Risks in fulfilling warranty obligations by defense industry enterprises. Means of communication equipment. 2023. №4(164). Pp. 33-38. DOI:10.24412/2782-2141-2023-4-33-38. (In Russian)

4. Ermakov V.E., Bachinsky A.G. *Teorii menedzhmenta kachestva Filippa Krosbi i Dzhozef Dzhuran* [Theories of quality management by Philip Crosby and Joseph Juran]. *Forum molody'x ucheny'x* [Forum of Young Scientists]. 2020. No. 10 (50). Pp. 188–192. (in Russian)

5. *Prikaz Ministra oborony Rossijskoj Federacii ot 05 oktyabrya 2022 g. № 590. Ob utverzhdenii Rukovodstva po organizacii reklamacionnoj raboty v Vooruzhenny'x Silax Rossijskoj Federacii* [Order of the Minister of Defense of the Russian Federation dated October 5, 2022. No. 590. On approval of the Guidelines for organizing claims work in the Armed Forces of the Russian Federation]. URL: <http://garant.ru/products/ipo> (date of access: 25.03.2024). (In Russian)

Статья поступила 23 марта 2024 г.

Информация об авторах

Мегера Юрий Анатольевич – Кандидат военных наук. Заместитель начальника отдела ПАО «Интелтех». Область научных интересов: управление техническим обеспечением связи и автоматизации. Тел.: +7(812)448-96-36. E-mail: yamegera1971@mail.ru.

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

Бурлаков Андрей Анатольевич – Кандидат военных наук, доцент. Доцент кафедры технического обеспечения связи и автоматизации Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного. Область научных интересов: управление техническим обеспечением связи и автоматизации. Тел.: +7(812)247-98-42, e-mail: burlakov38@gmail.com.

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

Прищенко Василий Николаевич – Кандидат технических наук, доцент. Заместитель генерального директора по качеству ПАО «Интелтех». Область научных интересов: управление техническим обеспечением связи и автоматизации. Тел.: +7(812)448-96-36. E-mail: PrishenkoVN@inteltech.ru

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

Process of inconsistency management in the course of organization of reclamation activity

Yu. A. Megera, A. A. Burlakov, V. N. Prishchenko

Annotation. *The claim in the aspect of civil law relations is a written document in which the consumer reports all the discrepancies of the supplied products and rendered services, their elimination, as well as compensation of incurred costs, payment of penalties for lost profits and other penalties. The procedures not regulated by the procedure for accepting (not accepting) claims documents for accounting when defense*

industry enterprises perform warranty obligations when fulfilling a state defense order are considered. **Relevance:** as practice shows, in the implementation and practical application of normative-legal acts of the Russian Federation and documents on standardization of defense products there are risks associated with insufficient definition of some terms, procedures, not regulated order of acceptance (non-acceptance) to the accounting of claims documents. **Purpose of work:** For objective assessment of the process of claim activity, it is necessary to determine the order of acceptance of claim documents for accounting and to distribute responsibility zones between the departments of the Enterprise when working with claims. **Methods used:** analysis of the process execution time, analysis of losses arising during the process execution, analysis of the process automation potential. **Novelty:** justification of the procedure of acceptance (non-acceptance) of claims documents for accounting, when the defense industry enterprises fulfill their warranty obligations in the fulfillment of the state defense order. **Result:** the presented algorithm should be analyzed and used as a basis for appropriate management decisions aimed at improving the claims process and interrelated QMS processes. **Practical significance:** the algorithm of work of the enterprise on received nonconformities of products is presented, procedures of acceptance (non-acceptance) to accounting of claim documents at different nature and reasons of the revealed defect are defined.

Keywords: warranty obligations, quality control, warranty obligations, technical support subsystem, claims work, standardization.

Information about Authors

Megera Yury Anatolievich – Candidate of Military Sciences. Deputy Head of Department of PJSC «Inteltech». Area of scientific interests: management of technical support of communication and automation. Tel.: +7(812)448-96-36. E-mail: yamegera1971@mail.ru.

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

Burlakov Andrey Anatolievich – Candidate of Military Sciences, Associate Professor. Associate Professor of the Department of Technical Support of Communications and Automation of the Military Academy of Communications named after Marshal of the Soviet Union S. M. Budyonny. Area of scientific interests: management of technical support of communication and automation. Tel.: +7 (812) 247-98-42, e-mail: burlakov38@gmail.com.

Address: St. Petersburg, Tikhoretsky prospect, 3.

Prishchenko Vasily Nikolaevich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor. Deputy Director General for Quality of PJSC «Inteltech». Area of expertise: management of technical support of communication and automation. Tel.: +7(812)448-96-36. E-mail: PrishchenkoVN@inteltech.ru

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

Для цитирования: Мегера Ю.А., Бурлаков А.А., Прищенко В.Н. Процесс управления несоответствиями в ходе организации рекламационной деятельности // Техника средств связи. 2024. № 1 (165). С.59-69. DOI: 10.24412/2782-2141-2024-1-59-69.

For citation: Megera Yu.A., Burlakov A.A., Prishchenko V.N. Process of inconsistency management in the course of organization of reclamation activity Means of Communication Equipment. 2024. No. 1 (165). Pp. 59-69. DOI: 10.24412/2782-2141-2024-1-59-69. (in Russian).

Основные пути модернизации корпоративного управления инновациями в Российской Федерации

Чеботарев С. С. Коротченкова В. В.

Аннотация. *Постановка задачи исследования:* определить основные направления (пути) модернизации корпоративного управления инновациями в Российской Федерации на современном этапе и ближайшую перспективу. **Цель работы:** развитие теории и практики менеджмента в сфере корпоративного управления инновациями в России. Для достижения цели работы были использованы методы классического и системного анализа, исследования операций, стратегического, инновационного и инвестиционного менеджмента, маркетинга и управления рисками. **Новизна** заключается в развитии и целесообразности использования методологии инновационно-инвестиционного подхода при определении основных путей модернизации корпоративного управления инновациями: система моделей, методов, принципов, функций и показателей оценки и управления эффективностью и устойчивым экономическим развитием предприятий высокотехнологичной промышленности. **Результат:** определены основные направления модернизации корпоративного управления инновациями на основе использования инструментария инновационно-инвестиционного подхода при оценке эффективности управления развитием высокотехнологичных организаций (компаний, предприятий), процессов ценообразования и востребованностью на их продукцию. Методология инновационно-инвестиционного подхода отличается применением единой системы методов, моделей и показателей анализа, позволяющих адекватно учитывать при этом управлении влияние факторов времени, рисков, различие интересов разных субъектов при организации процессов эффективного производства продукции (товара) и качественного удовлетворения спроса потребителей. **Практическая значимость:** состоит в возможности снижения затрат ресурсов и времени на организацию сложных процессов управления инновациями, а также в возможности рационального применения инновационных методологических и технологических решений в исследуемой предметной области.

Ключевые слова: инновации, концепция, метод, модель, принцип, процесс, риск, эффективность.

Введение

Сегодня особую актуальность в аспекте эффективности и устойчивого экономического развития организаций приобретают научные исследования в сфере совершенствования корпоративного управления инновациями. Актуальность исследуемой предметной области усиливается необходимостью выполнения требований по повышению устойчивости экономики Российской Федерации к неблагоприятным внешним воздействиям. Научные исследования [1-4] обосновывают необходимость и представляют дополнительные возможности для эффективного применения инновационных методологических и технологических решений с целью совершенствования корпоративного управления. Однако, при этом до сих пор не в полной мере уделено внимание исследованию вопросов, связанных с модернизацией корпоративного управления инновациями. При том, что в настоящее время реальные условия управления показывают востребованность дальнейшего развития методологии корпоративного управления инновациями. Поэтому для рационального достижения данной цели представляется целесообразным исследовать и обоснованно определить состояние вопроса и возможные пути модернизации управления в данной предметной области. **Постановка задачи исследования:** определить основные направления (пути) модернизации корпоративного управления инновациями в Российской Федерации на современном этапе и ближайшую перспективу.

Основная часть

Модернизация корпоративного управления инновациями должна отталкиваться от принципов системного подхода и синергетики, от т. н. парадигмы самоорганизации и

использования гибких организационных структур. Она в современных условиях включает восемь основных направлений, которые для организации являются экономическими шагами к ее успешному функционированию и устойчивому экономическому развитию[2]:

1. Интеграция стратегического планирования и инноваций - обеспечивает достоверность соответствия инновационных проектов долгосрочным стратегическим целям компании (организации, предприятия), гарантирует поддержку руководства и эффективность распределения ресурсов.

2. Оптимизация процессов по показателям инновационно-инвестиционного отбора проектов – НИОКР, которые отбираются по взаимосвязанному показателю финансов и потенциального стратегического вклада.

3. Утверждение культуры инноваций - системы экономического, морального и духовного стимулирования сотрудников к новаторству и безопасной среды научно-технического развития (неудачи принимаются как фактор приобретения опыта и профессионализма), переподготовка и повышение квалификации.

4. Внутрифирменная организация применения знаний – система обмена знаниями, идеями и достижениями внутри организации, использование инструментов для сбора и анализа данных с целью поиска новых возможностей для инноваций.

5. Экономический фокус на спрос - развитие процессов, ориентированных на пользователя, включая методы дизайн-мышления и быстрые итерации в целях улучшения понимания, стимулирования и удовлетворения спроса потребителей как постоянных клиентов.

6. Партнерство и сотрудничество в целях расширения инновационных возможностей организации, сотрудничество с внешними партнерами, такими как стартапы, вузы и научно-исследовательские институты.

7. Цифровая трансформация в целях улучшения процессов и создания новых бизнес-моделей, активное внедрение цифровых технологий - искусственного интеллекта, больших данных и автоматизация.

8. Гибкая адаптация к факторам внешней экономической среды и трендам - фактическая актуализация инновационной стратегии в соответствии с изменяющимися условиями.

Данные восемь шагов направлены на создание устойчивой инновационной экосистемы внутри корпорации в целях повышения её конкурентоспособности и способности к быстрой адаптации к изменениям рынка благодаря инвестиционным вложениям в инновационное развитие по видам НИОКР:

1. Фундаментальные исследования – научно-исследовательские работы, направленные на получение новых знаний о фундаментальных принципах явлений или наблюдаемых фактов.

2. Прикладные исследования – научно-исследовательские работы, направленные на получение новых знаний прикладного характера конкретной задачи по разработке новых изделий, технологий и др.

3. Экспериментальные разработки - систематическая работа, основанная на знаниях, полученных в ходе исследований, и направленная на создание новых материалов, продуктов или устройств, установление новых процессов, систем, услуг или на улучшение уже существующих.

4. Технологическая демонстрация и пилотирование - проведение тестов в условиях, максимально приближенных к реальным, для демонстрации технической жизнеспособности новых технологий.

5. Интеллектуальная собственность и лицензирование - управление патентами и коммерциализация технологий через лицензирование или продажу технологических решений.

6. Сотрудничество с вузами и НИИ - взаимодействие с научно-образовательными учреждениями в целях совместных исследований и обмена знаниями.

7. Инновационный маркетинг и логистика - разработка стратегических программ по внедрения новых продуктов и технологий, включая маркетинговые исследования и логистическую организацию удовлетворения спроса потребителей.

8. Повышение квалификации (профессиональный рост) сотрудников организации – инвестиции в кадровый ресурс, повышение профессионального потенциала сотрудников через систему знаний продуктивного и репродуктивного характера - НИОКР.

9. Управление рисками инновационной деятельности организации методом мониторинга инновационных процессов по критерию их эффективности и соответствия стратегическим целям.

Эти виды деятельности помогают организациям создавать новые технологии и продукты, поддерживать конкурентоспособность и способствовать экономическому росту. Эффективное финансирование (отношение результата к затратам) НИОКР достигается в результате действия развитого механизма ценообразования соответствующей методологии, включающей современные модели (подходы) [1, 4]. К ним в первую очередь следует отнести. Модель полных затрат (Full Costing) - включает в себя все прямые и косвенные затраты, связанные с НИОКР. Прямые затраты включают заработную плату исследователей, стоимость материалов и оборудования. Косвенные затраты могут включать амортизацию оборудования, расходы на управление и обслуживание. Модель переменных затрат (Variable Costing) - учитывает только переменные затраты, которые изменяются в зависимости от объема НИОКР. Это может быть полезно для краткосрочного планирования и принятия решений. Активити-базированный учет затрат (Activity-Based Costing, ABC), распределяет затраты на основе действий или процессов, которые потребляют ресурсы. Этот подход помогает более точно отслеживать и управлять затратами. Модель жизненного цикла затрат (Life Cycle Costing) - оценивает затраты на весь жизненный цикл продукта, начиная от исследований и разработки до производства, эксплуатации и утилизации. Целевой учет затрат (Target Costing) - начинается с определения цены, которую рынок готов заплатить за продукт, и вычитания желаемой прибыли, чтобы определить допустимые затраты на НИОКР. Модель затрат плюс наценка (Cost-Plus Pricing) - определяет цену продукта по затратам создания в сумме с фиксированной наценкой с учетом получения прибыли. Модель времени до рынка (Time-to-Market) - фокусируется на скорости внедрения продукта на рынок, что может влиять на затраты и потенциальную прибыль. Модель стоимости владения (Total Cost of Ownership, TCO) - учитывает все затраты на приобретение, использование и поддержку продукта или системы в течение его жизненного цикла. Рассмотренные модели (подходы) помогают организациям более эффективно управлять затратами на НИОКР, оптимизировать инвестиции и повысить вероятность коммерческого успеха инноваций. Однако, справедливости ради, следует отметить, что сегодня инициаторы инновационных проектов сталкиваются с рядом проблем, которые отрицательно влияют на процесс инноваций. К ним относятся: 1) сопротивление изменениям - сотрудники и управленцы могут сопротивляться нововведениям, опасаясь потери работы или изменения статус-кво. Решение данной проблемы находится в области создания и развития культуры инноваций, в которой поощряется экспериментирование и признается ценность ошибок как возможности для обучения; 2) недостаток ресурсов - инновационные проекты часто требуют значительных инвестиций времени, денег и других ресурсов. Решением является эффективное планирование и управление ресурсами, а также поиск внешнего финансирования, например, через венчурное инвестирование; 3) управленческий разрыв - разрыв между стратегическими целями и повседневной операционной деятельностью, который может привести к тому, что инновационные идеи не будут реализованы. Решение заключается в улучшении коммуникации и координации между различными уровнями управления и отделами; 4) рыночные риски - новые продукты и услуги могут не найти своего покупателя. Решение - проведение тщательных маркетинговых исследований и разработка гибких стратегий выхода на рынок; 5) защита интеллектуальной собственности - трудности с патентованием и

защитой интеллектуальной собственности могут привести к потере конкурентного преимущества. Достигается результатами работы с квалифицированными юристами и патентными агентами для обеспечения защиты инноваций; 6) технологическая неопределенность - неопределенность в отношении технологического развития может затруднить принятие решений, требуется внедрение систем мониторинга технологических трендов и адаптация к изменениям; 7) недостаточная квалификация персонала - отсутствие необходимых навыков и знаний у сотрудников может стать препятствием для инноваций. Решается инвестированием в обучение и развитие персонала, а также привлечением внешних экспертов. Каждая из выявленных проблем имеет свое соответствующее решение, но более эффективное их решение требует комплексного подхода и вовлеченности всех уровней управления организации, так как инновации — это не только идеи, но и их успешная реализация, которая возможна только при наличии подходящей инфраструктуры, ресурсов, корпоративной культуры. Таким образом, ключевым фактором прогресса коммерческой успешности организации являются разработка и практическое следование целевым маркетинговым стратегиям, которые включают: определение ключевых сегментов рынка и разработку специализированных маркетинговых стратегий - точное позиционирование инновационных продуктов; использование данных для принятия решений - сбор и анализ больших объемов данных о потребителях и рынке помогают понять предпочтения клиентов, тенденции рынка и эффективно распределять маркетинговые ресурсы; интеграция товара и маркетинга – сопряженное тождество свойств продукта и запросов потребителя, что преобразует товарное производство организации (компании, предприятия) в контрактное с гарантированной прибылью; адаптация к изменениям рынка - гибкость в маркетинговых стратегиях и способность быстро адаптироваться к изменениям рынка значительно увеличивают шансы на успех инновационных проектов; управление брендом и репутацией - построение сильного бренда и поддержание положительной репутации помогают в привлечении инвестиций и укреплении доверия потребителей к новым продуктам; маркетинговые коммуникации - разработка четких и убедительных маркетинговых сообщений, которые подчеркивают уникальные преимущества и ценность инноваций для клиентов; цифровой маркетинг и социальные медиа - эффективное использование цифровых каналов и социальных медиа для продвижения инновационных продуктов и привлечения потребителей; партнерские отношения и сотрудничество с другими организациями расширяет рыночный охват и увеличивает маркетинговые усилия. Данные целевые стратегии должны быть интегрированы в общую корпоративную стратегию и поддерживаться соответствующими ресурсами в соответствии с целевой функцией - синергией между инновационными идеями и маркетинговыми усилиями по увеличению потенциала инноваций и росту коммерческого успеха. Однако, не смотря на использование всех последних достижений науки в целях эффективного и устойчивого экономического развития всех без исключения организаций бизнеса инновационным проектам присущи инвестиционные риски, которые могут быть значительными и даже приводить к банкротству организации. В качестве альтернативы инвестиционным рискам (минимизации и/или исключения) разрабатываются соответствующие стратегии. Эксперты рекомендуют следующие: 1) **тщательного анализа рынка** с пониманием текущих и будущих тенденций рынка с прогнозом потенциального спроса на инновацию, что позволяет исключить инвестирование в проекты с низким потенциалом коммерциализации; 2) **разнообразия портфеля** - инвестирование в различные проекты и сектора обеспечивает снижение рисков, связанных с неудачей отдельных проектов; 3) **прототипирования и пилотных проектов** разработка прототипов и проведение пилотных проектов с оценкой технической жизнеспособности и рыночного потенциала инноваций до полномасштабного внедрения; 4) **гибкого планирования** - готовность к изменениям в плане проекта в ответ на новую информацию и обратную связь от рынка помогает своевременно корректировать курс и избегать убытков; 5) **управления интеллектуальной собственностью** - защита

интеллектуальной собственности через патенты и авторские права предотвращает копирование инноваций конкурентами; 6) **стратегических партнерств** - обеспечивает сотрудничество с другими компаниями и исследовательскими организациями, что снижает финансовую нагрузку и риски, связанные с разработкой новых технологий; 7) **финансового анализа и моделирования** - оценивает потенциальную рентабельность проекта и определяет точки безубыточности; 8) **этапного финансирования** - определяет поэтапное финансирование с привязкой к достижению конкретных целей проекта, финансовый мониторинг расходов и оценка прогресса. Таким образом, применение рекомендуемых стратегии обеспечивает минимизацию рисков и повышают вероятность успеха инновационных проектов.

Выводы

В итоге на практике при управлении инновациями появляется возможность снижения затрат ресурсов и времени на организацию сложных динамических процессов управления, а также возможность рационального применения инновационных методологических и технологических решений в исследуемой предметной области. Рассмотренные основные направления (пути) совершенствования корпоративного управления инновациями позволят в перспективе модернизировать этот ведущий сегмент инновационного менеджмента в России.

Литература

1. Чеботарев С. С., Голубев С. С. Методологические подходы к эффективной реализации стратегических программ импортозамещения // Экономические стратегии. 2017. № 7 (149). С. 68–77.
2. Чеботарев С.С., Проскурин Б.В., Ельшин В.А. Векторы управления инновациями высокотехнологичных организаций промышленности: методологические аспекты: монография. – М.: РУСАЙНС, 2022 – 148с.
3. Чеботарев С.С., Чеботарев В.С., Яхонт В.В. Импортозамещение в развитии оборонно-промышленного комплекса // Вестник воздушно-космической обороны. 2016. № 2 (10). С. 21-34.
4. Чеботарев С.С., Мельников Г.Н., Сидорова В.В. Анализ ценообразования в системе государственного оборонного заказа // Научный вестник оборонно-промышленного комплекса России. - М.: ФГУП «ВНИИ «Центр», 2019. №1. С.35-46.

References

- 1.Chebotarev S. S., Golubev S. S. *Metodologicheskie podkhody k effektivnoy realizatsii strategicheskikh programm importozameshcheniya* [Methodological Approaches to Effective Implementation of Strategic Import Substitution Programs]. *Ekonomicheskie strategii*. 2017. No. 7 (149). Pp. 68–77. (In Russian).
- 2.Chebotarev S.S., Chebotarev V.S., Yakhont V.V. Import substitution in the development of the military-industrial complex // *Bulletin of Aerospace Defense*. 2016. No. 2 (10). Pp. 21-34. (In Russian).
- 3.Chebotarev S.S., Proskurin B.V., Elshin V.A. Vectors of innovation management of high-tech industrial organizations: methodological aspects: monograph. – M.: RUSAINS, 2022 - 148с. (In Russian).
4. Chebotarev S.S., Melnikov G.N., Sidorova V.V. Analysis of pricing in the system of the state defense order // *Scientific Bulletin of the military-industrial complex of Russia*. - M.: FSUE VNII Center, 2019. No. 1. pp.35-46. (In Russian).

Статья поступила 20 марта 2024 г.

Информация об авторах

Чеботарев Станислав Стефанович – доктор экономических наук, профессор, заслуженный деятель науки Российской Федерации, начальник отдела методологических и экономических исследований, Акционерное общество «Научно-исследовательский институт

автоматической аппаратуры им. академика В.С. Семенихина», г. Москва. Область научных интересов: экономика. Тел.: +7 (926) 645-74-98. E-mail: StSt57@yandex.ru

Адрес: 117393, Москва, ул. Профсоюзная, д. 78.

Коротченкова Валерия Владимировна – главный специалист, Акционерное общество «Научно-исследовательский институт «Масштаб», г. Москва. Область научных интересов: экономика. Тел.: +79165062038. E-mail: v.korotchenkova@mashtab.org

Адрес: 117587, Россия, г. Москва, Варшавское ш., д. 125.

The main ways to modernize corporate innovation management in Russian Federation

S. S. Chebotarev V. V. Korotchenkova

Annotation. The purpose of the research is to determine the main directions (ways) of modernization of corporate innovation management in the Russian Federation at the present stage and in the near future. **The purpose of the work:** the development of management methodology in the field of corporate innovation management in Russia. To achieve the goal of the work, the methods of classical and system analysis, operations research, strategic, innovative and investment management, marketing and risk management were used. **The novelty** lies in the development and expediency of using the methodology of the innovation and investment approach in determining the main ways to modernize corporate innovation management: a system of models, methods, principles, functions and indicators for evaluating and managing efficiency and sustainable economic development of high-tech industry enterprises. **The result** of determining the main directions of modernization of corporate innovation management is to use the tools of the innovation and investment approach in assessing the effectiveness of management of the development of high-tech organizations, companies and enterprises, pricing processes and demand for their products. The methodology of the innovation and investment approach is characterized by the use of a unified system of methods, models and analysis criteria that allow for adequate consideration of the influence of time factors, risks, and differences in the interests of different subjects of this management. **The practical** significance lies in the possibility of reducing the cost of resources and time for the organization of routine innovation management processes, as well as in the possibility of rational application of innovative methodological and technological solutions in the subject area under study.

Keywords: innovation, concept, principle, method, model, process, risk, efficiency.

Information about Authors

Chebotarev Stanislav Stefanovich – Doctor of Economics, Professor, Honored Scientist of the Russian Federation, Head of the Department of Methodological and Economic Research, Joint-Stock Company Scientific Research Institute of Automatic Equipment named after Academician V.S. Semenikhin", Moscow. Field of research: Economy. Tel.: +7 (926) 645-74-98, E-mail: StSt57@yandex.ru.

Address: Russia, 117393, Moscow, Profsoyuznaya Street, 78

Korotchenkova Valeria Vladimirovna – Chief Specialist, Joint-Stock Company "Scientific Research Institute "Mashtab. Field of research: Economy. Tel.: +79165062038, E-mail: v.korotchenkova@mashtab.org.

Address: Russia, 117587, Moscow, Varshavskoe Shosse, 125

Для цитирования: Чеботарев С. С. Коротченкова В. В. Основные пути модернизации корпоративного управления инновациями в Российской Федерации // Техника средств связи. 2024. № 1 (165). С. 70-75. DOI: 10.24412/2782-2141-2024-1-70-75.

For citation: Chebotarev S. S. Korotchenkova V. V. The main ways to modernize corporate innovation management in Russian Federation. Means of Communication Equipment. 2024. No. 1 (165). Pp. 70-75. (in Russian). DOI: 10.24412/2782-2141-2024-1-70-75.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

УДК 621.391

DOI: 10.24412/2782-2141-2024-1-76-89

Обоснование требований к программно-аппаратным комплексам специального назначения для сбора и обработки информации на основе методов интеллектуального анализа большого количества разнородных и неструктурированных данных

Елизаров В. В., Паращук И. Б., Салюк Д. В.

Аннотация. *Постановка задачи:* детальный анализ характерных особенностей и исследование роли интеллектуальных технологий в интересах построения и модернизации существующих и перспективных программно-аппаратных комплексов специального назначения для сбора и обработки информации. Изучение архитектуры, условий функционирования и формулировка основных требований к комплексам такого класса с учетом возможных ограничений и вариантов применения современных алгоритмов интеллектуального анализа данных. **Новизна:** состоит в том, что объектом исследования являются современные инструменты интеллектуального анализа большого количества разнородных и неструктурированных данных, хранимых, размечаемых, перерабатываемых и визуализируемых в рамках программно-аппаратных комплексов специального назначения, которые, в свою очередь, служат основой и исходными данными для формулировки и обоснования требований по построению комплексов такого класса. **Целью работы** является анализ существующих и разработка новых подходов, ориентированных на формулировку (синтез) системы требований к программно-аппаратным комплексам специального назначения для сбора и обработки информации на основе методов интеллектуального анализа большого количества разнородных и неструктурированных данных. **Результат:** заключается в том, что предложен вариант практического наполнения (описаны сущность и содержание) иерархической системы базовых требований к программно-аппаратным комплексам специального назначения для сбора и обработки информации на основе методов интеллектуального анализа большого количества разнородных и неструктурированных данных, обоснованы требования по интегрируемости, оперативности, масштабируемости, адаптируемости и способности подобных комплексов работать на различных современных аппаратных платформах. Сформулированы требования к содержанию задач, решаемых на различных этапах создания программно-аппаратных комплексов специального назначения для сбора и обработки информации, выработаны некоторые конкретные предложения по их построению с учетом изложенных базовых требований. **Практическая значимость:** результаты исследований и предложенный подход к формулировке и обоснованию требований к программно-аппаратным комплексам специального назначения для сбора и обработки информации, с учетом условий и ограничений, связанных с объективной необходимостью интеллектуального анализа большого количества разнородных и неструктурированных данных, позволяют на основе единых системных позиций сформировать архитектуру подобных комплексов, а также эффективные алгоритмы сбора, обработки и визуализации Больших Данных, жизненно необходимых для принятия решений в системах автоматизации управления специального назначения.

Ключевые слова: Большие Данные, интеллектуальный анализ данных, поддержка принятия решений, программно-аппаратный комплекс, разнородные и неструктурированные данные, сбор и обработки информации.

Актуальность

Стремительное внедрение компьютерных систем и построенных на их основе программно-аппаратных комплексов для оперативного и достоверного анализа большого количества информации, принятия на основе этого анализа решений и поддержки принятия решения в общественной, государственной, промышленно-экономической и социальной

сфере современного общества является важным и мощным стимулом их перспективного развития.

В полной мере это справедливо и для программно-аппаратных комплексов должностных лиц критических инфраструктур государства, в том числе в сферах топливной и электроэнергетики, транспорта, нефтегазовой отрасли, сфере защиты информации, автоматизированного производства в промышленности, управления городским хозяйством, здравоохранении и науке в Российской Федерации в целом [1-5].

В этой связи особого внимания, на наш взгляд, заслуживают вопросы построения и применения современных программно-аппаратных комплексов такого класса для обеспечения обороноспособности и правопорядка в Российской Федерации. Речь, в частности, идет о проблемах и перспективах создания программно-аппаратных комплексов специального назначения, предназначенных для сбора и обработки информации в интересах устойчивого, непрерывного оперативного и скрытного управления войсками и оружием.

Особую актуальность данная проблематика приобретает сейчас, в период проведения специальной военной операции, где сбор и обработка большого количества информации от армейской разведки, групп беспилотных летательных аппаратов и систем сбора данных объективного контроля играет важнейшую роль.

В то же время, существующие в мире проблемы Больших Данных (Big Data), обуславливающие огромные объемы собираемой, хранимой и обрабатываемой информации, необходимой должностным лицам для принятия управленческих решений, а также объективно существующие многообразие, разнородность (гетерогенность) и слабые структурированность и формализация наблюдаемых, собираемых и обрабатываемых данных в интересах этих должностных лиц, обуславливают необходимость формулировки и решения задач построения программно-аппаратных комплексов специального назначения для сбора и обработки информации на основе методов интеллектуального анализа больших массивов разнородной и неструктурированной информации в интересах оценки состояния и поддержки принятия управленческих решений при работе с этими Большими Данными [6-9].

В настоящее время перечисленные задачи имеют недостаточное количество адекватных научно-технических решений, а в некоторых случаях не имеют их вовсе. При этом известные и используемые в существующих программно-аппаратных комплексах специального назначения средства и подсистемы аналитической обработки больших массивов разнородных и неструктурированных данных не отвечают предъявляемым требованиям по оперативности, полноте, точности и адекватности принимаемых решений. Это во многом объясняется как значительным многообразием, разнородностью (гетерогенностью) этих неструктурированных (слабоструктурированных) данных, которые необходимо собирать и обрабатывать для принятия своевременных и адекватных решений по управлению войсками и оружием, так и рецидивом проблемы Больших Данных – огромными объемами этих данных [6-9].

В результате возникает необходимость эффективного применения методов обработки этих больших объемов разнородных данных современными горизонтально масштабируемыми программными инструментами с использованием методов искусственного анализа (в частности, глубокого обучения), а также методов имитационного и графо-ориентированного моделирования, выявления аномальных данных, оперативного анализа качества информации и, оперативного принятия решений, а также оперативной визуализации [10-14].

При этом могут, по нашему мнению, найти применение интеллектуальные технологии компьютерного зрения, алгоритмы и методы когнитивных вычислений и выбора в условиях неопределенности, классификаторы и методы статистического

обучения, искусственные нейронные сети, методы теории умного управления и даже генетические алгоритмы [15-18].

Все это накладывает свой отпечаток на решение задач анализа условий функционирования, задач учета ограничений применения и критериев оценки качества программно-аппаратных комплексов специального назначения для сбора и обработки информации, но если говорить о первичной, основополагающей задаче – то и на решение задачи формулировки, классификации и обоснования требований к комплексам такого класса, что, в свою очередь, делает эти вопросы, на наш взгляд, критически важными, актуальными.

Формулировка состава системы базовых требований к программно-аппаратным комплексам специального назначения для сбора и обработки информации с использованием методов интеллектуального анализа большого количества разнородных и неструктурированных данных

Стратегия развития искусственного интеллекта на период до 2030 года, утвержденная Указом Президента Российской Федерации, и ряд других нормативно-правовых и руководящих документов, определяют искусственный интеллект как комплекс технологических решений, позволяющий имитировать когнитивные функции человека (включая самообучение и поиск решений без заранее заданного алгоритма) и получать при выполнении конкретных задач результаты, сопоставимые как минимум с результатами интеллектуальной деятельности человека [19].

С учетом этого определения и опираясь на результаты анализа современных подходов к решению проблемы Больших Данных, может быть выдвинута гипотеза о том, что программно-аппаратные комплексы специального назначения для сбора и обработки информации должны обладать аппаратной и/или программной возможностью автоматизации решения задач сбора и обработки информации на основе методов интеллектуального анализа разнородных (гетерогенных) неструктурированных (слабоструктурированных) данных, анализа с использованием методов искусственного интеллекта [20, 21].

В рамках программно-аппаратных комплексов специального назначения для сбора и обработки информации под интеллектуальным анализом разнородных (гетерогенных) неструктурированных (слабоструктурированных) данных в интересах задач управления войсками и оружием будем понимать общепринятый термин, применяемый для обозначения анализа данных такого типа с активным использованием современных интеллектуальных (когнитивных) математических методов и алгоритмов, таких как методы оптимизации, нейросетевые и генетические (биоинспирированные) алгоритмы, методы распознавания образов, статистические методы, классические методы искусственного интеллекта и т. д., а также использующих результаты их применения с помощью методов визуального представления данных. Фигурально говоря, смысл использования такого непростого анализа данных в рамках программно-аппаратных комплексов специального назначения для сбора и обработки информации может быть сведен к формулировке «получение информации из (исходных) данных» [22-24].

Интеллектуальный анализ разнородных (гетерогенных) неструктурированных (слабоструктурированных) данных в рамках задач, решаемых программно-аппаратными комплексами специального назначения, может быть представлен как «добыча данных», а глубинный анализ данных – совокупность методов обнаружения в данных ранее неизвестных, нетривиальных, практически полезных и доступных интерпретации знаний, необходимых для принятия своевременных и адекватных решений в сфере управления войсками и оружием.

При этом под интеллектуальным анализом в больших объемах гетерогенных данных, необходимых для управления войсками и оружием, также можно понимать как анализ массивов таких данных в рамках возможностей персональных рабочих мест – программно-аппаратных комплексов конкретных должностных лиц, так и анализ большого количества разнородных и неструктурированных данных в рамках возможностей систем управления базами данных о событиях, важных для принятия решений [13, 14].

Важно, что как в первом, так и во втором случае при формировании больших массивов разнородных и неструктурированных данных, при обработке статистики и визуализации возникают определенные трудности, которые заключаются в необходимости обеспечения скоординированной работы программ на десятках, сотнях, а иногда, и на тысячах программно-аппаратных комплексов специального назначения и серверов, предназначенных для интеллектуального анализа серьезных объемов таких гетерогенных данных, необходимых для принятия решений в сфере управления объектами такого класса.

С точки зрения формулировки иерархии и состава системы базовых требований к программно-аппаратным комплексам специального назначения, важным, по нашему мнению, общим требованием, является способность подобных комплексов осуществлять интеллектуальный анализ больших объемов разнородных (гетерогенных) неструктурированных (либо слабоструктурированных) данных, заключающийся в подготовке суммарной, агрегированной информации на основе больших массивов данных, например, об объектах и событиях, важных для управления войсками и оружием, иерархически структурированных по многомерному принципу [23].

Программно-аппаратные комплексы специального назначения для сбора и обработки информации должны быть способны реализовать многомерный и оперативный интеллектуальный анализ большого количества разнородных и неструктурированных данных, необходимых для принятия решений в сфере управления войсками и оружием, причем данный анализ может быть охарактеризован следующими параметрами:

- разнородность, разнообразие (многообразие) данных, принадлежность массивов анализируемых Больших Данных, необходимых для управления, к различным, но известным категориям, что облегчает работу с такими данными;

- количество, объем массивов данных об объектах и событиях, важных для устойчивого, непрерывного, оперативного и скрытного управления войсками и оружием (этот параметр характеризует, принадлежит ли конкретный массив данных к категории Больших Данных или не принадлежит);

- оперативность анализа – скорость сбора, генерирования и/или интеллектуальной обработки в программно-аппаратных комплексах специального назначения данных об объектах и событиях с целью решения поставленных задач, важных для управления войсками и оружием.

- подверженность данных изменениям в динамике управления, их нестабильность во времени;

- достоверность собранных данных с точки зрения их «качества», обуславливающего, в итоге точность интеллектуального анализа объектов и событий, важных для устойчивого, непрерывного, оперативного и скрытного управления войсками и оружием;

- сложность и трудоемкость процесса корреляции, визуализации и построения взаимосвязей между данными об объектах и событиях, важных для управления войсками и оружием.

С учетом рассмотренных особенностей программно-аппаратных комплексов специального назначения для сбора и обработки информации с использованием методов интеллектуального анализа большого количества разнородных и неструктурированных данных, необходимо с военно-научной точки зрения сформулировать иерархию и

определить состав системы базовых технологических требований к ним и к их внедрению, в частности:

–интегрируемость программно-аппаратных комплексов специального назначения – в них данные хранятся и обрабатываются в едином информационном пространстве системы управления войсками и оружием, что позволит обеспечить их полноту, непротиворечивость, достоверность и возможность многократного использования, причем комплекс может эволюционировать – включать в свою архитектуру вновь разработанные и уже используемые подсистемы, интеллектуальные технологии и инновационные приложения;

–системная платформа программно-аппаратных комплексов специального назначения такого типа – внедрение и/или адаптация готового решения от «доверенного» производителя или разработка нового программно-аппаратного комплекса в соответствии с техническим заданием заказчика;

–адаптируемость и преемственность программно-аппаратных комплексов специального назначения, использующих методы и алгоритмы интеллектуального анализа большого количества разнородных и неструктурированных данных – подобные комплексы «настраиваются» в соответствии с требованиями заказчика и с учетом особенностей информационной среды (информационного пространства) системы управления, с учетом существующих и функционирующих программно-аппаратных комплексов;

–оперативность работы программно-аппаратных комплексов специального назначения, использующих методы и алгоритмы интеллектуального анализа большого количества разнородных и неструктурированных данных – могут своевременно выполнять стоящие перед ними задачи;

–распределенность программно-аппаратных комплексов специального назначения, использующих методы и алгоритмы интеллектуального анализа большого количества разнородных и неструктурированных данных – могут эффективно функционировать в территориально удаленных подразделениях и подсистемах управления;

–горизонтальная и вертикальная масштабируемость программно-аппаратных комплексов специального назначения, использующих методы и алгоритмы интеллектуального анализа большого количества разнородных и неструктурированных данных – архитектура таких комплексов может выполняться в виде базового каркаса, первоначально содержащего ключевые модули, и дополняться (расширяться) в соответствии с вводимыми новыми интеллектуальными технологиями и требованиями изменяющейся внешней и внутренней среды функционирования.

Рассмотрим некоторые из этих требований более подробно.

Как и для других сложных интеллектуальных систем поддержки принятия решений, способность программно-аппаратных комплексов специального назначения обрабатывать большие объемы разнородной информации, необходимой для принятия решений в сфере управления войсками и оружием (информации в разном формате, поступающей из разных источников с учетом большого количества пользователей, привилегий и ресурсов), может достигаться путем обеспечения их масштабируемости.

Масштабируемость программно-аппаратных комплексов специального назначения, использующих методы и алгоритмы интеллектуального анализа большого количества разнородных и неструктурированных данных, позволит данным системам выполнять дополнительные требования к мониторингу и анализу такой информации в еще более крупных масштабах, позволит обеспечить поддержку обработки большого объема данных различных гетерогенных (иногда противоречивых) данных об объектах и событиях, критически важных для управления.

Помимо этого, масштабируемость программно-аппаратных комплексов специального назначения, использующих методы и алгоритмы интеллектуального анализа данных, подразумевает их способность увеличивать скорость обработки

большого количества разнородных и неструктурированных данных с увеличением числа подключаемых к системе дополнительных вычислительных ресурсов. Выполнение требования по масштабируемости позволяет поддерживать корректную работоспособность программно-аппаратных комплексов специального назначения в условиях пиковых нагрузок.

В создаваемых сейчас программно-аппаратных комплексах специального назначения требование масштабируемости может и должно быть удовлетворено за счет использования интеллектуальных технологий обработки Больших Данных, в том числе, методов и моделей распределенного машинного обучения на Больших Данных, нечеткой кластеризации и нечеткого логического вывода, а также методов эволюционных вычислений, реализованных для исполнения на высокопроизводительных кластерах с поддержкой горизонтального масштабирования вычислительных ресурсов системы управления.

Выполнение требования по оперативности (своевременности) работы программно-аппаратных комплексов специального назначения подразумевает необходимость обучения данной системы на результатах предобработки больших массивов разнородных и неструктурированных данных в течение заданного промежутка времени.

Для выполнения этого требования в рамках решения задач, стоящих перед программно-аппаратными комплексами специального назначения, использующими методы и алгоритмы интеллектуального анализа данных, машинного обучения, предлагается использовать интеллектуальные механизмы обработки данных с заданным интервалом, основанные на нейросетевом анализе временных рядов, где на основании заданного интервала времени определяется темп роста или снижения значений параметров, характеризующих состояние различных объектов, на которые ориентировано управление.

Оперативность обработки больших массивов разнородных и неструктурированных данных об объектах и событиях, критически важных для управления войсками и оружием, в рамках функционирования программно-аппаратных комплексов специального назначения, характеризует способность данных комплексов обеспечивать своевременное решение задач и доведение результатов (оценок событий или состояния системы) до должностных лиц, принимающих подобные решения.

Требования по оперативности обработки больших массивов разнородных и неструктурированных данных задаются исходя из общего времени, выделенного на решение задач управления, и представляют собой суммарное время реализации процедур интеллектуального анализа и обработки гетерогенных данных, а также принятия решений в рамках программно-аппаратных комплексов специального назначения.

В данных комплексах такое требование может быть выполнено за счет привлечения методов искусственного интеллекта, в том числе, методов эволюционных вычислений и машинного обучения, реализованных для исполнения на высокопроизводительных кластерах. В результате, благодаря применению этих алгоритмов, программно-аппаратные комплексы специального назначения смогут обрабатывать большие объемы данных, а также реализовывать новые подходы к обработке и анализу данных (например, методы глубокого обучения).

Соблюдение требований по своевременности работы программно-аппаратных комплексов специального назначения позволит обеспечить необходимый уровень быстродействия и поддержать масштабируемость разрабатываемой системы, а также избежать задержек в работе систем поддержки и принятия решений в целом.

Повышение обоснованности принимаемых решений в рамках программно-аппаратных комплексов специального назначения, помимо прочего, достигается путем повышения достоверности и точности анализа больших массивов разнородных и

неструктурированных данных о событиях, об объектах и событиях, критически важных для управления.

Кроме того, обоснованность принимаемых решений в рамках работы программно-аппаратных комплексов специального назначения, зависит от качества данных, получаемых из различных источников: из внутренних источников, из внешних источников, в том числе от третьих сторон, из собственных источников, из общедоступных источников, по результатам непосредственного анализа событий.

Достоверность результатов работы программно-аппаратных комплексов специального назначения характеризует меру точности оценки объектов и событий, верности выводов при анализе ситуаций и правильности принимаемых решений относительно выбора мер, направленных на эффективное управление войсками и оружием. Она зависит от точности измерений, диагностики, наблюдения, прогнозирования и от полноты и эффективности интеллектуальной аналитической обработки данных [24].

Применение высокоточных распределенных методов и алгоритмов из области искусственного интеллекта, в частности, нейросетевых методов и методов глубокого обучения, способно повысить достоверность решений, принимаемых в рамках программно-аппаратных комплексов специального назначения, а значит, в итоге, повысить обоснованность принимаемых решений системой в целом. Также достоверность может достигаться, например, за счет использования высокопроизводительных средств анализа, базирующихся на интеллектуальных агентах, обладающих возможностями самообучения.

Одним из важнейших требований к программно-аппаратным комплексам специального назначения для сбора и обработки информации с использованием методов интеллектуального анализа большого количества разнородных и неструктурированных данных, является высокая полнота полученных результатов, то есть способность, в рамках и по результатам аналитической обработки, предоставлять всестороннюю и достаточную для принятия решений оценку всех обрабатываемых на входе данных об объектах и событиях, важных для управления войсками и оружием [13, 14, 24].

Полнота обработки больших массивов разнородных и неструктурированных данных в рамках программно-аппаратных комплексов специального назначения для сбора и обработки информации определяется уровнем охвата характеристик объектов и событий, эффективностью процедур обработки этих данных и характеризует качество принимаемых решений. При определении полноты обработки данных об объектах и событиях, критически важных для управления войсками и оружием, следует исходить из уровня достоверности результатов работы всех компонентов глобальной системы управления.

Требование к адаптивности программно-аппаратных комплексов специального назначения для сбора и обработки информации призвано обеспечивать соответствие характеристик процесса работы этих комплексов конкретной ситуации и соответствующей ей задаче управления войсками и оружием. Требование адаптивности является следствием (и производной) требований по непрерывности и гибкости работы, так как, даже в случае сбоя или выхода из строя подсистемы интеллектуальной аналитической обработки, программно-аппаратные комплексы должны принимать решение об очередном изменении, учитывающем возможность наступления тех или иных событий, важных для управления войсками и оружием.

Адаптивность программно-аппаратных комплексов специального назначения для сбора и обработки информации подразумевает возможность изменения состава выявляемых и анализируемых объектов и событий, критически важных для управления войсками и

оружием, а также способность этих комплексов настраивать свои параметры без перерыва в работе с целью лучшего выполнения задачи всей системой в целом.

Предполагается, что программно-аппаратные комплексы специального назначения для сбора и обработки информации на основе методов интеллектуального анализа большого количества разнородных и неструктурированных данных поддерживают несколько режимов работы, в частности режим дообучения, который должен позволить не переобучать все обученные ранее модели машинного обучения, а расширить и уточнить состав типов данных, объектов и событий, подлежащих интеллектуальному анализу.

При этом для каждой модели машинного обучения программно-аппаратных комплексов специального назначения для сбора и обработки информации на основе методов интеллектуального анализа большого количества разнородных и неструктурированных данных может быть задан свой набор правил и критериев принятия решений. Предполагается, что в состав компонентов модели машинного обучения программно-аппаратных комплексов такого класса будут входить блоки обучения и верификации моделей, а также компоненты обнаружения аномалий в анализируемых данных.

Некоторые предложения по построению программно-аппаратных комплексов специального назначения для сбора и обработки информации с учетом изложенных требований

Практика показывает, что в ходе построения программно-аппаратных комплексов специального назначения для сбора и обработки информации на основе методов интеллектуального анализа большого количества разнородных и неструктурированных данных необходимо исследовать возможность включения в такие комплексы высокоэффективных нейросетевых и эволюционных алгоритмов, поддерживающих инкрементное обучение (на основе приращения знаний) и позволяющих добавлять новые категории знаний без прерывания работы системы интеллектуального анализа.

Следует отметить, что для поддержки адаптивной, широко и глубоко масштабируемой структуры программно-аппаратных комплексов специального назначения для сбора и обработки информации с использованием методов интеллектуального анализа большого количества разнородных и неструктурированных данных, при их работе в реальном или близком к реальному времени, они должны иметь открытую масштабируемую архитектуру, что позволит добавлять и адаптировать новые способы интеллектуальной обработки цифрового контента без существенных затрат на переобучение, а также поддерживать горизонтальное масштабирование за счет добавления высокопроизводительных вычислительных узлов и новых моделей и алгоритмов без прерывания работы комплексов такого класса.

В этой связи в процессе разработки и совершенствования программно-аппаратных комплексов специального назначения для сбора и обработки информации с использованием методов интеллектуального анализа большого количества разнородных и неструктурированных данных, должны быть, по нашему мнению, выбраны следующие направления, исследованы следующие вопросы и решены следующие задачи:

–системный и доскональный анализ существующих отечественных и зарубежных аппаратно-программных решений по построению программно-аппаратных комплексов специального назначения, нацеленных на автоматизацию решения задач сбора и обработки информации на основе методов интеллектуального анализа разнородных и неструктурированных данных;

–формулировка и согласование достоверных источников и перечня исходных данных для создания программно-аппаратных комплексов специального назначения для сбора и

обработки информации, как с точки зрения системных, программных и аппаратных решений, так и с точки зрения видов обеспечения (математического, лингвистического и др.);

–формулировка и согласование источников, объема и номенклатуры (перечня) исходных данных, включая виды неструктурированных (слабоструктурированных) данных, для функционирования программно-аппаратных комплексов специального назначения для сбора и обработки информации с использованием методов интеллектуального анализа большого количества разнородных и неструктурированных данных;

–разработка единой концепции построения и функционирования программно-аппаратных комплексов специального назначения для сбора и обработки информации с использованием методов интеллектуального анализа большого количества разнородных и неструктурированных данных;

–формирование общего подхода и требований, предъявляемых к компонентам программно-аппаратных комплексов специального назначения для сбора и обработки информации с использованием методов интеллектуального анализа большого количества разнородных и неструктурированных данных (например, к компонентам: сбора и предварительной обработки данных; многокритериальной оценки и категоризации объектов и ситуаций, анализ которых необходим для принятия управленческих решений; обеспечения своевременности многоуровневого и многомодульного анализа таких объектов и ситуаций; адаптации и переобучения системы анализа объектов и ситуаций, в том числе, в режиме эксплуатации; выработки и выбора мер управления войсками и оружием; реализации визуальных интерфейсов для поддержки принятия решений по управлению войсками и оружием;

–разработка общей архитектуры перспективных программно-аппаратных комплексов специального назначения для сбора и обработки информации с использованием методов интеллектуального анализа большого количества разнородных и неструктурированных данных в интересах устойчивого, непрерывного, оперативного и скрытного управления сложными объектами, силами и средствами такого класса.

Выводы

Детальный анализ характерных особенностей и исследование роли некоторых интеллектуальных технологий в интересах построения и модернизации существующих и перспективных программно-аппаратных комплексов специального назначения для сбора и обработки информации, показывает, что существующие и успешно апробированные инструменты интеллектуального анализа большого количества разнородных и неструктурированных данных, хранимых, размечаемых и перерабатываемых в комплексах такого класса, не только доступны и применимы для задач подобного рода, решаемых с учетом проблем Больших Данных, но и способны существенно улучшить качество принятия решений по управлению войсками и оружием.

Доказательством таких выводов могут служить, как уже давно существующие позитивные примеры использования некоторых наиболее распространенных технологий интеллектуального анализа больших объемов данных в различных сферах жизнедеятельности государства, так и реальные результаты экспериментального методологического и практического анализа, посвященного вопросам внедрения алгоритмов интеллектуальной обработки большого количества разнородных и неструктурированных данных в системы и комплексы специального (военного) назначения.

С учетом этого предпринята попытка сформулировать и обосновать основные требования к программно-аппаратным комплексам специального назначения для сбора и обработки информации на основе методов интеллектуального анализа большого количества разнородных и неструктурированных данных. Предполагается, что данные требования позволят с системных позиций взглянуть на проблемы построения комплексов такого класса,

смогут повысить качество их архитектурных решений в рамках проектирования и построения и, в целом, смогут повысить эффективность их применения. Определена и сформулирована иерархия системы базовых технологических требований к программно-аппаратным комплексам специального назначения для сбора и обработки информации, обоснованы требования по интегрируемости, оперативности, масштабируемости, адаптируемости и способности подобных комплексов работать на различных современных аппаратных платформах. Рассмотрены требования, которым должны соответствовать современные и перспективные процедуры интеллектуального анализа большого количества разнородных и неструктурированных данных.

Сформулированы требования к содержанию задач, решаемых на различных этапах создания программно-аппаратных комплексов специального назначения для сбора и обработки информации, выработаны некоторые конкретные предложения по их построению с учетом изложенных требований.

Полученные результаты исследований и изложенный подход к формулировке и обоснованию требований к программно-аппаратным комплексам специального назначения для сбора и обработки информации, с учетом условий и ограничений, связанных с объективной необходимостью интеллектуального анализа большого количества разнородных и неструктурированных данных, позволяют на основе единых системных позиций сформировать архитектуру подобных комплексов, а также эффективные алгоритмы сбора, обработки и визуализации Больших Данных, жизненно необходимых для принятия решений в системах автоматизации управления специального назначения.

Литература

1. Сорокин С. А., Горшков А. В. Архитектура программно-аппаратных комплексов. – М.: Издательство МИРЭА – Российский технологический университет. 2023. 61 с.
2. Казарин О. В., Забабурин А. С. Программно-аппаратные средства защиты информации. Защита программного обеспечения: учебник и практикум для среднего профессионального образования. – М.: Издательство Юрайт, 2023. 312 с.
3. Шабров Н. Н. Программно-аппаратные комплексы виртуального окружения как ключевые технологии принятия решений // Суперкомпьютеры. 2013. № 1 (13). С. 27–31.
4. Музипов Х. Н. Программно-технические комплексы автоматизированных систем управления. Учебное пособие для вузов. 2-е издание. – М.: Лань. 2022. 164 с.
5. Программно-аппаратные комплексы. Оборудование. – М.: Интегра-С, 2021. 34 с.
6. Парашук И. Б. Проблемы Больших Данных. Особенности и пути решения // IX Санкт-Петербургская Межрегиональная конференция «Информационная безопасность регионов России-2015 (ИБРР-2015)». Материалы конференции, – СПб.: СПОИСУ, 2015. С. 175–176.
7. Тесленко И. Б., Крылов В. Е., Губернаторов А. М. и др. Анализ больших данных: учебное пособие. – М.: КноРус, 2023. 295 с.
8. Парашук И. Б. Большие Данные, проблемы и перспективы // Неделя науки. Материалы конференции. в 2-х кн. Кн. 2. – СПб.: ВАС, 2015. С. 66–71.
9. Горелик А. Корпоративное озеро больших данных. Новый подход к использованию Big Data и Data Science в бизнесе. – М.: Эксмо, 2023. 272 с.
10. Боровская Е. В., Давыдова Н. А. Основы искусственного интеллекта: учебное пособие. 4-е изд. – М.: Лаборатория знаний, 2020. 130 с.
11. Остроух А. В. Введение в искусственный интеллект: монография. – Красноярск: Научно-инновационный центр, 2020. 250 с.
12. ГОСТ Р 59277-2020. Системы искусственного интеллекта. Классификация систем искусственного интеллекта. – М.: Стандартинформ. 2021. 16 с.
13. Буренок В. М. Проблемы применения систем с искусственным интеллектом в военном деле // Известия РАН. № 4 (119). 2021. С. 3–6.
14. Елизаров В. В., Парашук И. Б., Салюк Д. В. Анализ этапов и критериев выбора современных технологий искусственного интеллекта в интересах построения и совершенствования

техники средств связи и автоматизации управления специального назначения // Техника средств связи. 2023. № 1 (161). С. 60–68.

15. Королев А. Д., Корневский Н. А., Кузнецов Д. Н. и др. Интеллектуальные программно-аппаратные комплексы передачи информации в телемедицинских сетях. – Томск: Издательский Дом Томского государственного университета. 2018. 348 с.

16. Иванов В. М. Интеллектуальные системы: учебное пособие. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2015. 92 с.

17. Ясницкий Л. Н. Интеллектуальные системы. – М.: Лаборатория знаний, 2016. 221 с.

18. Богуславский А. А., Боровин Г. К., Карташев В. А. и др. Модели и алгоритмы для интеллектуальных систем управления. – М.: ИПМ им. М. В. Келдыша, 2019. 228 с.

19. Указ Президента Российской Федерации от 10 октября 2019 года № 490 «О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации». – М.: Управление делами Президента Российской Федерации. 2019. 25 с.

20. Виткова Л. А., Парашук И. Б., Саенко И. Б. Проблематика и особенности процедур аналитической обработки больших массивов гетерогенных данных о событиях кибербезопасности в инфокоммуникационных сетях и системах // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. XI Международная научно-техническая и научно-методическая конференция; сб. науч. ст. в 4 т. / Под. ред. А. В. Шестакова; сост. В. С. Елагин, Е. А. Аникевич. – СПб.: СПбГУТ, 2022. Т. 1. С. 279–283.

21. Михайличенко А. В., Парашук И. Б., Селезнев А. В. Интеллектуальная аналитическая обработка больших массивов гетерогенных данных в интересах контроля безотказности и ремонтпригодности мобильных дата-центров // Современные тенденции инженерного образования. Сборник материалов Научно-практической конференции. – СПб.: ВАС, 2022. С. 188–192.

22. Мусаев А. А. Интеллектуальный анализ данных: учебное пособие. – СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2018. 56 с.

23. Замятин А. В. Интеллектуальный анализ данных: учебное пособие. – Томск: Издательский Дом Томского государственного университета, 2020. 194 с.

24. Котенко И. В., Саенко И. Б., Браницкий А. А., Парашук И. Б., Гайфулина Д. А. Интеллектуальная система аналитической обработки цифрового сетевого контента для защиты от нежелательной информации // Информатика и автоматизация (Труды СПИИРАН). Вып. 20 (4), 2021. С. 755–792.

References

1. Sorokin S. A., Gorshkov A. V. *Arxitektura programmno-apparatny'x kompleksov* [Architecture of software and hardware complexes]. Moscow. Izdatel'stvo MIRE'A – Rossijskij tehnologicheskij universitet Publ., 2023. 61 p. (In Russian)

2. Kazarin O. V., Zababurin A. S. *Programmno-apparatny'e sredstva zashhity' informacii. Zashhita programmno obespecheniya: uchebnik i praktikum dlya srednego professional'nogo obrazovaniya* [Software and hardware means of information protection. Software protection: textbook and workshop for secondary vocational education]. Moscow. Izdatel'stvo Yurajt Publ., 2023. 312 p. (In Russian)

3. Shabrov N. N. *Programmno-apparatny'e komplekсы' virtual'nogo okruzheniya kak klyuchevy'e texnologii prinyatiya reshenij* [Software and hardware complexes of virtual environment as key decision-making technologies]. Superkomp'yutery' Publ., 2013. No.1(13). Pp. 27–31 (In Russian)

4. Muzipov H. N. *Programmno-texnicheskie komplekсы' avtomatizirovanny'x sistem upravleniya* [Software and hardware complexes of automated control systems]. Moscow. Lan' Publ. 2022. 164 p. (In Russian)

5. *Programmno-apparatny'e komplekсы'. Oborudovanie* [Software and hardware complexes. Equipment]. Moscow. Integra-S Publ. 2021. 34 p. (In Russian)

6. Parashchuk I. B. *Problemy' Bol'shix Danny'x. Osobennosti i puti resheniya* [Big Data Problems. Features and solutions]. IX Sankt-Peterburgskaya Mezhhregional'naya konferenciya «Informacionnaya bezopasnost' regionov Rossii-2015 (IBRR-2015)». Materialy' konferencii [IX-th St. Petersburg Interregional Conference "Information Security of the regions of Russia-2015 (IBRD-2015)". Materials of the conference]. St. Petersburg: SPOISU Publ., 2015. Pp. 175–176. (In Russian)

7. Teslenko I. B., Krylov V. E., Gubernatorov A. M. et al. *Analiz bol'shix danny'x: uchebnoe posobie* [Big Data analysis: textbook]. Moscow: KnoRus Publ., 2023. 295 p. (In Russian)
8. Parashchuk I. B. *Bol'shie Dannie'e, problemy' i perspektivy'* [Big Data, problems and prospects]. *Nedelya nauki. Materialy' konferencii* [Week of Science. Conference materials.]. St. Petersburg. Military Academy of Communications Publ., 2015. Pp. 66–71. (In Russian)
9. Gorelik A. *Korporativnoe ozero bol'shix danny'x. Novy'j podxod k ispol'zovaniyu Big Data i Data Science v biznese* [Corporate lake of big data. A new approach to the use of Big Data and Data Science in business]. Moscow: Eksmo Publ., 2023. 272 p. (In Russian)
10. Borovskaya E. V., Davy'dova N. A. *Osnovy' iskusstvennogo intellekta: uchebnoe posobie* [The basics of artificial intelligence: a textbook]. Moscow. Laboratoriya znaniy Publ., 2020. 130 p. (In Russian)
11. Ostroux A. V. *Vvedenie v iskusstvenny'j intellekt: monografiya* [Introduction to Artificial Intelligence: monograph]. Krasnoyarsk. Nauchno-innovacionny'j centr Publ., 2020. 250 p. (In Russian)
12. GOST R 59277-2020 *Sistemy' iskusstvennogo intellekta. Klassifikaciya sistem iskusstvennogo intellekta* [Artificial intelligence systems. Classification of artificial intelligence systems]. Moscow. Standartinform Publ., 2021. 16 p. (In Russian)
13. Burenok V. M. *Problemy' primeneniya sistem s iskusstvenny'm intellektom v voennom dele* [Problems of using systems with artificial intelligence in military affairs]. *Izvestiya RARAN* [Izvestia RARAN]. № 4 (119). 2021. Pp. 3–6. (In Russian)
14. Elizarov V. V., Parashchuk I. B., Salyuk D. V. Analysis of the stages and criteria for the selection of modern artificial intelligence technologies in the interests of building and improving communication equipment and control automation of special purpose. *Means of Communication Equipment*. 2023. No. 1 (161). Pp. 60-68. DOI: 10.24412/2782-2141-2023-1-60-68. (in Russian).
15. Korolev A. D., Korenevsky N. A., Kuznetsov D. N., etc. *Intellektual'ny'e programmno-apparatny'e komplekсы' peredachi informacii telemedicinskix setyax* [Intelligent software and hardware complexes for transmitting information to telemedicine networks]. Tomsk. Publishing House of Tomsk State University. 2018. 348 p. (In Russian)
16. Ivanov V. M. *Intellektual'ny'e sistemy': uchebnoe posobie*. [Intelligent systems: a textbook]. – Yekaterinburg: Ural Publishing House, 2015. 92 p. (In Russian)
17. Yasnitskiy L. N. *Intellektual'ny'e sistemy'* [Intelligent systems]. Moscow. Laboratory of Knowledge Publ., 2016. 221 p. (In Russian)
18. Boguslavsky A. A., Borovin G. K., Kartashev V. A. and others. *Modeli i algoritmy' dlya intellektual'ny'x sistem upravleniya* [Models and algorithms for intelligent control systems]. Moscow. IPM named after M. V. Keldysh Publ., 2019. 228 p. (In Russian)
19. *Ukaz Prezidenta Rossijskoj Federacii ot 10 oktyabrya 2019 goda № 490 «O razvitii iskusstvennogo intellekta v Rossijskoj Federacii»* [Decree of the President of the Russian Federation No. 490 dated October 10, 2019 "On the development of artificial intelligence in the Russian Federation"]. Moscow. *Upravlenie delami Prezidenta Rossijskoj Federacii*. [Administration of Affairs of the President of the Russian Federation]. 2019. 25 p. (In Russian)
20. Vitkova L. A., Parashchuk I. B., Saenko I. B. *Problematika i osobennosti procedur analiticheskoy obrabotki bol'shix massivov geterogenny'x danny'x o soby'tiyax kiberbezopasnosti v infokommunikacionny'x setyax i sistemax* [Problematics and features of analytical processing procedures for large arrays of heterogeneous data on cybersecurity events in infocommunication networks and systems]. *Aktual'ny'e problemy' infotelekommunikacij v nauke i obrazovanii. XI Mezhdunarodnaya nauchno-texnicheskaya i nauchno-metodicheskaya konferenciya*. [Actual problems of infotelecommunications in science and education. XI International Scientific-Technical and Scientific-methodological Conference]. St. Petersburg. SPbSUT Publ., 2022. Vol.1. Pp. 279–283. (In Russian)
21. Mikhaylichenko A. V., Parashchuk I. B., Seleznev A. V. *Intellektual'naya analiticheskaya obrabotka bol'shix massivov geterogenny'x danny'x v interesax kontrolya bezotkaznosti i remontoprigradnosti mobil'ny'x data-centrov* [Intelligent analytical processing of large arrays of heterogeneous data in the interests of monitoring the reliability and maintainability of mobile data centers]. *Sovremennyye tendencii inzhenernogo obrazovaniya. Sbornik materialov Nauchno-prakticheskoy konferencii* [Modern trends in engineering education. Collection of materials of the

Scientific and practical conference]. St. Petersburg. Military Academy of Communications Publ., 2022. Pp. 188–192. (In Russian)

22. Musaev A. A. *Intellectual`ny`j analiz danny`x: uchebnoe posobie* [Data mining: a textbook]. St. Petersburg. SPbGTI(TU), 2018. 56 p. (In Russian)

23. Zamyatin A. V. *Intellectual`ny`j analiz danny`x: uchebnoe posobie* [Data mining: a textbook]. Tomsk. Publishing House of Tomsk State University Publ., 2020. 194 p. (In Russian)

24. Kotenko I. V., Saenko I. B., Branitsky A. A., Parashchuk I. B., Gayfulina D. A. *Intellectual`naya sistema analiticheskoy obrabotki cifrovogo setevogo kontenta dlya zashchity` ot nezhelatel`noj informacii* [Intelligent system of analytical processing of digital network content for protection from unwanted information]. *Informatika i avtomatizaciya (Trudy` SPIIRAN)*. [Informatics and automation (Proceedings of SPIIRAN)]. Is. 20(4). 2021. Pp. 755–792. (In Russian)

Статья поступила 04 февраля 2024 г.

Информация об авторах

Елизаров Вячеслав Владимирович – кандидат технических наук. Заместитель начальника отдела ООО «СТЦ». Область научных интересов: проектирование и разработка автоматизированных систем специального назначения; технологии сбора и обработки информации. Тел.: +7 911 227 90 95. E-mail: m_els@mail.ru

Паращук Игорь Борисович – доктор технический наук, профессор, Заслуженный изобретатель Российской Федерации. Профессор кафедры (автоматизированных систем специального назначения) Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного. Область научных интересов: мониторинг информационных и телекоммуникационных систем; сетевые технологии; комплексы и средства защиты информации. Тел.: +7 911 944 36 88. E-mail: shchuk@rambler.ru.

Салюк Дмитрий Владиславович – кандидат технических наук, доцент. Начальник отдела ПАО «Интелтех». Область научных интересов: проектирование и разработка автоматизированных систем специального назначения, сетевые технологии. Тел.: +7 921 7941064. E-mail: salukdv@rambler.ru

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

Substantiation of requirements for special-purpose software and hardware complexes for collecting and processing information based on methods of intellectual analysis of a large number of heterogeneous and unstructured data

V. V. Elizarov, I. B. Parashchuk, D. V. Salyuk

Annotation: Task statement: a detailed analysis of the characteristic features and research of the role of intelligent technologies in the interests of building and upgrading existing and promising special-purpose software and hardware complexes for collecting and processing information. Study of architecture, operating conditions and formulation of basic requirements for complexes of this class, taking into account possible limitations and application options of modern algorithms of data mining. **Novelty:** consists in the fact that the object of research is modern tools for the intelligent analysis of a large number of heterogeneous and unstructured data stored, marked up, processed and visualized within the framework of special-purpose software and hardware complexes, which, in turn, serve as the basis and source data for the formulation and justification of requirements for the construction of complexes of this class. **The purpose** of the work is to analyze existing and develop new approaches focused on the formulation (synthesis) of a system of requirements for special-purpose software and hardware complexes for collecting and processing information based on methods of intellectual analysis of a large number of heterogeneous and unstructured data. **The result** is that a variant of practical filling is proposed (the essence and content are described) of a hierarchical system of basic requirements for special-purpose software and hardware complexes for collecting and processing

information based on methods of intellectual analysis of a large number of heterogeneous and unstructured data, the requirements for integrability, efficiency, scalability, adaptability and the ability of such complexes to work are justified on various modern hardware platforms. The requirements for the content of tasks solved at various stages of the creation of special-purpose software and hardware complexes for the collection and processing of information are formulated, some specific proposals for their construction are developed taking into account the stated basic requirements. **Practical significance:** the research results and the proposed approach to the formulation and justification of requirements for special-purpose software and hardware complexes for collecting and processing information, taking into account the conditions and limitations associated with the objective need for intelligent analysis of a large number of heterogeneous and unstructured data, allow us to form the architecture of such complexes based on unified system positions, as well as effective algorithms collection, processing and visualization of Big Data, vital for decision-making in special purpose control automation systems.

Keywords: Big data, data mining, decision support, hardware and software complex, decision support, heterogeneous and unstructured data, hardware and software complex, information collection and processing.

Information about Authors

Elizarov Vacheslav Vladimirovich – Candidate of Technical Sciences. Deputy Head of the Department of JSC «STC». Research interests: design and development of automated systems for special purposes; technologies for collecting and processing information. Tel.: +7 911 227 90 95. E-mail: m_els@mail.ru

Parashchuk Igor Borisovich – Doctor of Technical Sciences, Professor, Honored Inventor of the Russian Federation. Professor of the Department (Automated Special purpose Systems) of the Military Academy of Communications named after Marshal of the Soviet Union S.M. Budyonny. Research interests: monitoring of information and telecommunication systems; network technologies; complexes and means of information protection. Tel.: +7 911 944 36 88. E-mail: shchuk@rambler.ru

Salyuk Dmitry Vladislavovich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor. Head of the Department of PJSC «Inteltech». Research interests: design and development of automated systems for special purposes, network. Tel.: +7 921 794 10 64. E-mail: salukdv@rambler.ru

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

Для цитирования: Елизаров В. В., Паращук И. Б., Салюк Д. В. Обоснование требований к программно-аппаратным комплексам специального назначения для сбора и обработки информации на основе методов интеллектуального анализа большого количества разнородных и неструктурированных данных // Техника средств связи. 2024. № 1 (165). С. 76-89. DOI: 10.24412/2782-2141-2024-1-76-89.

For citation: Elizarov V. V., Parashchuk I. B., Salyuk D. V. Substantiation of requirements for special-purpose software and hardware complexes for collecting and processing information based on methods of intellectual analysis of a large number of heterogeneous and unstructured data. Means of Communication Equipment. 2024. No. 1 (165). Pp. 76-89. (in Russian). DOI: 10.24412/2782-2141-2024-1-76-89.

ВОПРОСЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

УДК 519.724.2

DOI: 10.24412/2782-2141-2024-1-90-98

**Подходы к совершенствованию телекодовой аппаратуры связи
для обмена данными с авиационными комплексами**

Борисенко Е. В., Егоров М. В., Квашенников В. В., Шабанов А. К.

Аннотация. Достижения в области теории и практики помехоустойчивого кодирования и микроэлектроники открыли новые возможности по созданию и производству аппаратуры помехоустойчивой защищенной телекодовой связи для обмена данными с авиационными комплексами.

Целью работы является проведение анализа новых задач по организации помехоустойчивой защищенной связи, выявленных в ходе военно-технических экспериментов, проведенных в последние годы. Рассмотрены предложения по совершенствованию аппаратуры телекодовой связи для реализации новых требований. **Результаты** выполненного анализа могут быть полезны в качестве методического аппарата при выборе эффективных технических решений в процессе проектирования телекоммуникационных систем нового поколения в условиях сложной помеховой обстановки и воздействия средств радиоэлектронной борьбы. **Практическая значимость** работы заключается в выработке рекомендаций по выбору перспективных кодовых конструкций для обеспечения высокой помехоустойчивости, в частности по применению трехступенчатых каскадных помехоустойчивых кодов, при передаче длинных сообщений и работе в режиме радиомолчания. Также выработаны предложения по совершенствованию системы кодовой цикловой синхронизации и организации работы сетей телекодовой связи для обмена данными с авиационными комплексами.

Ключевые слова: алгоритмы кодирования и декодирования, каскадные помехоустойчивые коды, многомерные итеративные коды Элайеса, телекодовая аппаратура связи.

Введение

Телекодовая связь, как надежное средство доставки сравнительно небольших объемов командной информации при связи между наземными пунктами управления и авиационными комплексами и авиационных комплексов между собой, хорошо зарекомендовала себя с 80-х годов прошлого века. Сегодня средства телекодовой связи находят все большее применение не только для связи с авиацией, но и как средство связи надводных кораблей (НК) и подводных лодок (ПЛ) Военно-морского флота (ВМФ) [1].

С 2018 года АО «КНИИТМУ» принимает активное участие в комплексных военно-технических экспериментах (КВТЭ), проводимых под эгидой Главного управления связи (ГУС) Вооруженных Сил Российской Федерации (ВС РФ) и Главного командования (ГК) ВМФ. Основная задача проводимых работ обеспечить снижение времени подготовки полётных заданий и надежное доведение цифровой информации различного объема с применением комплексов средств автоматизации и средств связи в воздушном, наземном и морском эшелонах, в автоматическом режиме.

В рамках КВТЭ была организована единая сеть обмена данными по закрытым каналам связи на базе радиолинии «Перевал». Обеспечена передача информации о воздушной, надводной, подводной и наземной обстановке между летательными аппаратами (ЛА) морской авиации (МА) ВМФ и объектами ВМФ различного базирования.

Результаты отработки информационного обмена, выполненной в ходе комплексных военно-технических экспериментов на объектах морской авиации, с привлечением средств связи наземного и морского базирования показывают широкие возможности совершенствования системы авиационной связи на основе аппаратуры телекодовой связи. В то же время при проведении КВТЭ выявлены вопросы, требующие особого внимания при дальнейшем совершенствовании телекодовой аппаратуры.

Постановка задачи

В ходе подготовки к КВТЭ, с целью организации единой сети обмена данными об обстановке, получаемой от ЛА МА ВМФ, и обеспечения взаимодействия НК и ПЛ, а также для построения скрытого управления МА ВМФ и выдачи данных телеуправления с командных пунктов ПВО и пунктов управления ВМФ, АО «КНИИТМУ» были подготовлены и доработаны в необходимом объеме серийно изготавливаемые телекодовые комплексы.

В них была обеспечена функция обработки ряда новых форматов передачи данных, обмен информацией (файлами) большого объема, а также взаимодействие с перспективными высокоскоростными станциями.

В ходе экспериментов как проблемные вопросы обеспечения информационного обмена и автоматизации действий авиации были выделены четыре проблемных аспекта применения телекодовой связи:

- требуется увеличение скорости информационного обмена;
- надежная передача больших массивов информации, включая условия отсутствия обратной связи (в частности, режим «радиомолчания»);
- сетевая ретрансляция сообщений, при отсутствии доступной связи «точка-точка»;
- совершенствование информационного обмена при групповых действиях авиации и беспилотных летательных аппаратов (БЛА).

Рассмотрим возможные подходы к решению поставленных задач.

Выбор кодовых конструкций для обеспечения высокой помехоустойчивости

Для решения первых двух вопросов требуется обосновать применение в каналах помехоустойчивых кодовых конструкций, исправляющих ошибки, которые обеспечат возможности увеличения скорости, путем снижения сложности декодирования сообщений, и обеспечат минимальную избыточность при обеспечении требуемой помехоустойчивости. Дополнительную сложность обуславливает необходимость в ряде случаев обеспечить надежное доведение информации в режиме «радиомолчания».

На сегодняшний день в теории кодирования известно много различных кодов и методов их декодирования, различающихся энергетическим выигрышем, вносимой избыточностью, сложностью реализации и рядом других параметров. Известны и широко используются турбо-коды, низкоплотностные коды Галлагера (*LDPC*-коды), каскадные коды, и многие др. коды [2].

Ниже приведена сравнительная характеристика перечисленных перспективных кодов, описаны их достоинства и недостатки, а также области применения. В АО «КНИИТМУ», начиная с середины 70-х годов, в аппаратуре связи и управления используется каскадный помехоустойчивый код, модифицированный добавлением третьей ступени кодирования. Это позволяет с высокой достоверностью передавать сообщения различного объема, начиная с коротких команд телекодового управления, и заканчивая ауди и видео сообщениями объемом в 1 Мбит и более. Сложность декодирования трехступенчатого каскадного кода будет небольшой, линейно возрастающей от длины кода.

Турбо-коды. В середине 90-х годов прошлого столетия по турбо-кодам было проведено большое число теоретических, а затем и прикладных исследований [3]. Турбо-коды были предложены в 1993 г группой французских ученых во главе с Берру [4, 5]. В своих работах они подробно исследовали турбо-код, описали его кодирование и декодирование, а также рассмотрели помехоустойчивость кода. В связи с высокой сложностью декодирующего устройства код вначале не нашел большого применения. Однако через несколько лет турбо-коды были замечены научным сообществом и разработчиками аппаратуры связи и стали использоваться в различных приложениях. Турбо-коды вошли в стандарты связи, используются, например, для передачи данных в стандарте мобильной связи *WiMAX*, применяются в системах спутниковой и мобильной связи и цифрового телевидения [6]. Турбо-коды были утверждены в стандарте спутниковой связи *DVB-RCS* [7].

Основной недостаток турбо-кодов – это относительно высокая сложность декодирования и большая задержка, которые делают их неудобными для некоторых применений. Ещё один существенный недостаток турбо-кодов – сравнительно небольшое кодовое расстояние (минимальное расстояние между двумя кодовыми словами в смысле выбранной метрики), равное для стандартного кода 50 на длине кодового ограничения. Это приводит к тому, что эффективность турбо-кода крайне ограничена. Поэтому для уменьшения вероятности ошибки и сложности декодирования в настоящее время применяют не турбо-коды, а *LDPC*-коды.

Коды с малой плотностью проверок на четность. Коды с малой плотностью проверок на четность (*LDPC*-коды) были предложены Р. Галлагером в 1962 году, более чем 70 лет назад [8]. Методы кодирования и декодирования кодов, описанные в научных работах Галлагера, вызвали большой интерес в последние десятилетия. Было показано, что характеристики *LDPC*-кодов не хуже характеристик турбо-кодов, а кодирование и декодирование намного проще и хорошо поддается распараллеливанию.

LDPC-код, вместо турбо-кода, стал частью стандарта *DVB-S2* спутниковой передачи данных для цифрового телевидения. Также *LDPC*-код вошел в стандарт *IEEE 802.3an* сети *Ethernet 10G*. Аналогичная замена произошла и в стандарте для цифрового наземного телевизионного вещания [9, 10].

В настоящий момент *LDPC*-коды считаются одними из самых эффективных из всех используемых кодов. Хорошо известен довольно длинный низкоплотный код, обеспечивающий отличие на рекордные 0.0045 дБ от предела Шеннона. Развитие каналов связи открывают широкие перспективы для дальнейшего внедрения и использования *LDPC*-кодов в различной аппаратуре.

Однако и у *LDPC*-кодов имеется ряд недостатков. Одним из основных недостатков *LDPC*-кодов является сложность изменения параметров кода, например информационной и блочной длины кода. Практическая реализация *LDPC*-кодов не обеспечивает простого изменения кодовой скорости и длины блока, потому что для этого требуется формировать новую проверочную матрицу, что достаточно сложно для длинных кодов. Низкоплотные коды ориентированы на коррекцию ошибок в каналах со случайными независимыми ошибками, а в каналах с группирующимися ошибками требуют перемежения символов. Глубина перемежения обычно не определена и может изменяться по величине в зависимости от корреляции ошибок в канале связи. Выбор наибольшей из возможных глубин перемежения приводит к большой задержке в передаче информации, что для многих приложений совершенно неприемлемо.

Со временем более жесткие требования по помехоустойчивости привели к возобновлению интереса к каскадным помехоустойчивым кодам, которые стали использоваться в стандарте *DVB-T2*. Оказалось, что *LDPC*-коды в каналах низкого качества и с группирующимися ошибками уступают трехступенчатым каскадным кодам.

Трехступенчатые каскадные коды. Каскадные коды впервые описал Д. Форни в середине 60-х годов, также он указал способ их кодирования и декодирования, исправляющий ошибки кратности до половины их конструктивного кодового расстояния – декодирование по минимуму обобщенного расстояния (MOP) [11]. В конце 60-х годов министерство обороны США инициировало разработку системы *JITIDS (Joint Tactical Information Distribution System)* распределения тактической информации армии США и блока НАТО. В этой системе для повышения помехоустойчивости использовался каскадный помехоустойчивый код на основе кодов БЧХ и Рида-Соломона. Для декодирования внутреннего кода БЧХ использовался корреляционный декодер на поверхностных волнах с мягкими решениями. Применялся весьма мощный каскадный помехоустойчивый код, корректирующий большое число ошибок в пределах своего минимального кодового расстояния $D = 16 \times 9 = 144$.

В середине 70-х годов в «Калужском научно-исследовательском институте телемеханических устройств» была разработана аппаратура радиолинии «Перевал»,

предназначенная для оперативно-командного управления. Необходимость в этой телекодовой аппаратуре возникла для организации устойчивого информационного обмена и управления авиационными комплексами и наземными мобильными группировками по каналам связи в условиях сложной помеховой обстановки, включая радиоэлектронную борьбу (РЭБ). В телекодовых каналах передавались относительно небольшие формализованные сообщения от 256 бит (одноблочные сообщения) до 1024 бит (четырёхблочные сообщения).

Помехоустойчивый каскадный код радиолинии «Перевал» имеет две ступени каскадного кодирования: внутренний код – двоичный код БЧХ (31,16,7), внешний код – Рида-Соломона (32,16,17) с символами поля Галуа $GF(2^8)$ с довольно большим минимальным кодовым расстоянием $D = 17 \times 7 = 119$. Для цикловой синхронизации каскадного кода применялся оригинальный алгоритм кодовой цикловой синхронизации, использующий для установления синхронизации два неискаженных слова кода БЧХ. Синхронизация не требовала передачи дополнительной служебной информации для целей синхронизации и была достаточно надежной, обеспечивала вероятность синхронизации не хуже вероятности правильного декодирования каскадного кода. Аппаратура предусматривала два режима работы: длинный каскадный код в КВ канале низкого качества, и короткий каскадный код в УКВ канале высокого и среднего качества. Согласно технического задания? аппаратура обеспечивала вероятность правильного приема в канале с вероятностью ошибки на бит $5 \cdot 10^{-2}$ не меньше 0,98, а в канале с вероятностью ошибки на бит 10^{-3} и менее – не хуже 0,99.

По мере развития помехоустойчивого кодирования и появления более совершенной элементной базы в АО «КНИИТМУ» постоянно проводились работы по улучшению алгоритмов кодирования и декодирования каскадных помехоустойчивых кодов, направленные на повышение помехоустойчивости и быстродействия. При этом происходило постоянное снижение весовых и габаритных характеристик аппаратуры, а также энергопотребления. Было разработано и в настоящее время серийно выпускаются ряд модификаций аппаратуры связи и управления, востребованные заказчиками, в частности использованные при проведении КВТЭ.

Компонентные коды БЧХ и Рида-Соломона каскадного кода весьма близки к наилучшим известным кодам, поэтому и каскадные коды на их основе имеют высокие характеристики помехоустойчивости. Каскадные коды являются наилучшими кодами для передачи небольших сообщений (до 1000 бит), обеспечивающими разумный компромисс между помехоустойчивостью и сложностью реализации [12]. Для повышения помехоустойчивости использованы алгоритмы мягкого декодирования, в большой степени реализующие потенциальные возможности каскадной кодовой конструкции. Декодирование выполняется по наиболее вероятным символам внутреннего кода с исправлением ошибок и стираний. Код БЧХ декодируют с коррекцией 3-х ошибок в слове, а код Рида-Соломона – с коррекцией до 8 пакетных (байтных) ошибок. Каскадный код хорошо работает, как в каналах с независимыми, так и с группирующимися ошибками за счет коррекции пакетных ошибок внешним недвоичным кодом Рида-Соломона над полем Галуа $GF(2^8)$. Перемежения символов при этом не требуется, что упрощает реализацию и уменьшает задержку декодирования. Скорость длинного каскадного кода равна $16/31 \times 16/32 \approx 1/4$. Коррекция максимально возможного числа ошибок во внутреннем и внешнем коде расширяет диапазон качества канала связи, при котором еще обеспечивается требуемая вероятность доведения сообщений. Для цикловой синхронизации каскадного кода используются слова внутреннего кода БЧХ, что не требует передачи специальных синхронизирующих последовательностей для целей синхронизации. Весьма существенно была также усовершенствована система цикловой синхронизации. Теперь кодовая цикловая синхронизация осуществляется не только по неискаженным словам кода БЧХ, но и, по словам кода с ошибками. Это значительно увеличивает вероятность установления синхронизации и уменьшает вероятность ложной синхронизации.

Однако, весьма существенным недостатком каскадного кода с двумя ступенями кодирования является небольшой объем передаваемых сообщений от 256 до 1024 бит. Для коротких команд телекодового управления этого вполне достаточно, но дальнейшее

увеличение длины сообщений приводит к необходимости многократного повторения каскадного кода, что снижает помехоустойчивость. Это является основным доводом противников каскадного помехоустойчивого кодирования.

В реальных системах помехоустойчивое кодирование часто используется для передачи длинных аудио и видео файлов, информации с датчиков телеметрии и т. д. Поэтому, для передачи длинных сообщений каскадными кодами без снижения помехоустойчивости в АО «КНИИТМУ» была предложена третья ступень многомерного итеративного кодирования, позволяющая передавать сообщения различной длины, начиная с небольших длин в несколько сотен бит и заканчивая длинами вплоть до 1 Мбит и более.

В качестве третьей ступени каскадного кодирования используется многомерный код Элайеса с проверками на четность по ребрам многомерного куба, который составлен из слов двухступенчатого каскадного кода. Одиночная проверка на четность третьей ступени кодирования позволяет исправлять одно стирание двухступенчатого каскадного кода. Поэтому, третья ступень кодирования позволяет исправлять все комбинации стираний, за исключением стираний, расположенных в вершинах многомерного прямоугольника. Поскольку вероятность данной конфигурации стираний, как показывают расчеты, мала, то трехступенчатый каскадный код обеспечивает высокую помехоустойчивость. Двухступенчатый каскадный код создает искусственный канал связи высокого качества, на котором третья ступень кодирования показывает высокую эффективность. При этом сложность третьей ступени кодирования будет небольшой. Сложность двухступенчатого каскадного кода также незначительная из-за небольшой длины этого кода. Сложность трехступенчатого каскадного кода увеличивается примерно линейно от длины кода.

Достоинством каскадного кода, по сравнению со стандартными турбо-кодами и *LDPC*-кодами является более, чем в 2 раза большее минимальное расстояние кода, что обеспечивает более высокую помехоустойчивость. Новые методы адаптивного кодирования и декодирования каскадных кодов с мягкими решениями, обеспечивают повышение помехоустойчивости в мобильных системах связи [13]. Использование новых технических решений реализации кодера и декодера каскадного кода, существенно повысило помехоустойчивость и быстродействие, снизило сложность обработки. Третья ступень каскадного кода позволила передавать длинные сообщения при небольшой сложности кодирования и декодирования.

Направления совершенствования комплексов телекодовой связи

С учетом реализации описанного выше алгоритма, в ходе проведения экспериментов продемонстрирована возможность интеграции системы связи с АСУ и возможности эффективного решения задачи передачи, в частности данных телеуправления и данных обстановки по защищенным каналам связи типа «Перевал». Проведенные испытания подтвердили вероятность доведения сообщений объемом 2 Мбайта не хуже 0,99, при качестве канала с вероятностью ошибки на бит до 10^{-2} . Что доказывает возможность, в частности, надежного доведения массивов информации телеуправления до ПЛ в каналах обмена без обратной связи.

На сегодняшний день по результатам полученных результатов КВТЭ АО «КНИИТМУ» проведены работы по расширению номенклатуры аппаратуры разработанной в интересах МО РФ, а также повышению тактико-технических характеристик серийно изготавливаемых изделий.

Разработан и серийно поставляется новый вариант исполнения комплекса для установки на командно-штабных машинах (КШМ). Создаются изделия для автономных необслуживаемых объектов. В рамках ОКР «Конверсия» завершена разработка нового телекодового комплекса для перспективных АСУ ВМФ. Ведутся серийные поставки доработанных комплексов для оснащения НК. Ведется модернизация авиационных

комплексов радиолокационного дозора и наведения, в части дооснащения их аппаратурой передачи данных (АПД), производимой АО «КНИИТМУ».

Реализована на действующих объектах, оснащённых средствами АСУ, передача сообщений (приказов и донесений) в части касающихся доведения данных телеуправления и иной информации по трактам, организованным АПД «Перевал».

Проводятся работы по дооснащению самолетов и вертолетов МА ВМФ телекодовой аппаратурой, для обеспечения освещения надводной и подводной обстановки.

Доработана конструкторская документация, выпускаемых АО «КНИИТМУ» наземных комплексов, с целью введения дополнительных функции по получению данных о воздушной обстановке от ЛА Воздушно-космических сил (ВКС) и МА ВМФ и передачи ее на взаимодействующие комплексы средств автоматизации (КСА) АСУ.

Комплексы телекодовой связи работают на основе унифицированных кодограмм, служебно-адресная часть которых обеспечивает реализацию *сетевой ретрансляции* сообщений, при отсутствии доступной связи «точка-точка». Соответствующие маршруты закладываются при формировании маршрутно-адресных таблиц. Это расширяет возможности сети связи и повышает вероятность доведения.

Для разгрузки эфира наземные комплексы могут обмениваться по высокоскоростным проводным (оптоволоконным) каналам. Для подключения к высокоскоростным наземным сетям связи, использующим протоколы *TCP/IP* и стык *Ethernet*, имеется выпускаемая АО «КНИИТМУ» аппаратура, реализующая функции коммутатора сети *Ethernet* второго уровня и имеющая канальные стыки С2, С2-спец и С1-ФЛ для подключения АПД и других средств.

Групповые действия авиации и роев беспилотных летательных аппаратов, особенно при использовании информации в контурах автоматического управления требуют сокращения времени доведения команд. Для решения данной задачи используются: увеличение пропускной способности канала за счет сокращения избыточности помехоустойчивого кода при низком уровне помех в канале; увеличения скорости манипуляции в канале; сокращения времени ожидания в цикле, при организации обмена в группе; уменьшения информационной длины команды. Последний подход в телекодowych сетях обеспечивается переходом к использованию одноблочных сообщений (с использованием короткого адреса, без ретрансляции), что вполне допустимо при компактном размещении группы и наличия прямой видимости.

Циклический обмен в группе ЛА сейчас организуется на одной частоте. Сокращение времени ожидания в цикле зависит от длительности цикла обмена, который может быть уменьшен за счет сокращения защитных интервалов (определяется возможностями средств радиосвязи и скоростью обработки в АПД), а также за счет сокращения числа абонентов группы.

Сокращение числа абонентов в группе можно обеспечить при переходе к иерархическим групповым структурам. Время доведения команд сокращается в разы, но при этом требуется увеличение частотного ресурса. Изменяется и алгоритм работы, для доведения команд в иерархической системе может понадобиться ретрансляция. При использовании циклического обмена в группах он реализуется как постоянный режим. В то же время нужно упомянуть, что в отсутствии групповых действий реализуется свободный доступ абонентов в радиоэфир. При этом цикл сбора формируется однократно. Длительность цикла и моменты выхода участников обмена в эфир определяются параметрами, задаваемыми планом связи.

Выводы

Таким образом, телекодковая аппаратура, первоначально предназначенная для организации устойчивого информационного обмена короткими сообщениями и управления авиационными комплексами и наземными мобильными группировками по каналам связи диапазонов метровых – декаметровых волн (МВ-ДКМВ) в условиях сложной сигнально-помеховой обстановки, включая условия РЭБ, в соответствии с прогнозом развития сетей авиационной радиосвязи ВКС [14], значительно расширила область применения.

Она успешно используется в воздушном, морском и наземном эшелонах системы связи ВС РФ (в стационарной и подвижной составляющих). В рамках проводимых под руководством ГУС ВС РФ экспериментов удалось организовать единую сеть обмена данными о воздушной, надводной, подводной и наземной обстановке по закрытым каналам связи радиолинии «Перевал» между ЛА МА ВМФ и объектами ВМФ различного базирования. Основой успешного применения телекодовой аппаратуры является ее непрерывное совершенствование с учетом новых требований потребителя, на основе применения инновационных решений, в частности, в области совершенствования кодовых конструкций и алгоритмов их обработки.

Теория и практика помехоустойчивого кодирования находятся в постоянном развитии. В немалой степени этому содействует появление новой более производительной элементной базы, позволяющей реализовывать современные методы помехоустойчивого кодирования. Каскадные коды, предложенные уже более 60 лет назад, не только не потеряли своей актуальности, но еще даже не в полной мере реализовали свои потенциальные возможности. За счет помехоустойчивого кодирования можно существенно улучшить качество связи в условиях сложной помеховой обстановки. Для передачи длинных сообщений следует использовать третью ступень каскадного кодирования, существенно повышающую помехоустойчивость.

Результаты проделанной работы по развитию телекодовой связи по результатам КВТЭ получили высокую оценку ГУС МО РФ и ГК ВМФ. АО «КНИИТМУ» не останавливается на достигнутом, и с каждым проведенным экспериментом улучшает эксплуатационные и тактико-технические характеристики аппаратуры. Результаты отработки информационного обмена, выполненной в ходе комплексных военно-технических экспериментов на объектах морской авиации, с привлечением средств связи наземного и морского базирования показывают широкие возможности совершенствования системы авиационной связи на основе аппаратуры телекодовой связи.

Литература

1. Егоров М. В., Ермиков С. И., Шабанов А. К. Об актуальных направлениях модернизации аппаратуры и комплексов телекодовой связи // Сб. науч. ст. по материалам IX Международной научно-технической конференции, посв. Дню образования войск связи «Современное состояние и перспективы развития систем связи и радиотехнического обеспечения в управлении авиацией». IX Научные чтения имени А.С. Попова (14-15 октября 2020 г.) – Воронеж: ВУНЦ ВВС «ВВА». 2020. – 315 с.; с.63-66.
2. Морелос Сарагоса Р. Искусство помехоустойчивого кодирования. Методы, алгоритмы, применение. – М.: Техносфера. 2006. – 319 с.
3. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. – 1104 с.
4. Berrou C., Glavieux A., Thitimajshima P. Near Shannon limit error-correcting coding and decoding: Turbo-codes. (1). In 1993. ICC 93. Geneva. Technical Program, Conference Record, IEEE International Conference on Communications, volume 2, pages 1064–1070. IEEE, 1993.
5. Berrou C., Glavieux A. Near optimum error correcting coding and decoding: Turbo-codes. IEEE Transactions on Communications, 44(10):1261–1271, 1996.
6. Комаров С. В., Постников С. А., Левшин В. И., Дремачев Д. В., Артемьев Н. В. Применение турбокодов в мультимедийных системах связи третьего поколения: Сборник статей. Теория и техника радиосвязи. – 2003. – С. 112–119.
7. Варгаузин В., Протопопов Л. Турбокоды и итеративное декодирование: принципы, свойства, применение. www.telemultimedia.ru/art.php?id=77. 2000.
8. Галлагер Р. Дж. Коды с малой плотностью проверок на четность. – М.: Мир, 1996. – 90 с.
9. Золотарев В. В., Овечкин Г. В. Обзор исследований и разработок методов помехоустойчивого кодирования. – М.: Горячая линия–Телеком, 2004. – 126 с.
10. Башкиров А. В., Остроумов И. В., Свиридова И. В. Основы помехоустойчивого кодирования, основные преимущества и недостатки алгоритмов декодирования // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2012. Т. 8. № 2. С. 20-22.
11. Форни Д. Каскадные коды. – М.: Изд-во «Мир», 1970. – 207 с.
12. Варгаузин В. А. Вблизи границы Шеннона // ТелеМультиМедиа. 2005. № 6. С. 3-10.

13. Квашенников В. В. Патент РФ № 266069 МПК H04L 1/20. Способ передачи многоблочных сообщений в комплексах телекодовой связи. Приор. 02.02.2018. Опубл. 08.10.2018. – Бюл. № 28.

14. Петухов В. Н., Мотин О. В., Доброхотов А. В. Совершенствование сетей авиационной радиосвязи Воздушно-космических сил на период до 2025 года // Труды XVI Российской научно-технической конференции «Новые информационные технологии в системах связи и управления», (7 июня 2017 г.). – Калуга: Изд-во «Ноосфера», 2017. С. 14-18.

References

1. Egorov M.V., Ermikov S.I., Shabanov A. K. *Ob aktual'ny'x napravleniyax modernizacii apparatury i kompleksov telekodovoj svyazi* [On current directions of modernization of equipment and complexes of telecode communication]. *Sb. nauch. st. po materialam IX Mezhdunarodnoj nauchno-texnicheskoj konferencii, posvyashhennoj Dnyu obrazovaniya vojsk svyazi «Sovremennoe sostoyanie i perspektivy razvitiya sistem svyazi i radiotexnicheskogo obespecheniya v upravlenii aviatsiej». IX Nauchny'e chteniya imeni A.S. Popova* [Collection of scientific articles based on the materials of the IX International scientific and technical conference dedicated to the Day of formation of the signal forces "Current state and prospects of development of communication systems and radio engineering support in aviation management" IX Scientific readings named after A.S. Popov]. (October 14-15, 2020). Voronezh. VUNTS VVS "VVA" Publ., 2020. 315 p. Pp.63-66. (In Russian)

2. Morelos Zaragoza R. *Iskusstvo pomexoustojchivogo kodirovaniya. Metody, algoritmy, primeneniye* [The art of noise-tolerant coding. Methods, algorithms, and applications]. Moscow. Technosphere Publ., 2006. 319 p. (In Russian)

3. Sklyar B. *Cifrovaya svyaz. Teoreticheskie osnovy i prakticheskoe primeneniye* [Digital communication. Theoretical foundations and practical application]. Moscow. Williams Publishing House, 2003. 1104 p. (In Russian)

4. Berrou C., Glavieux A., Thitimajshima P. Near Shannon limit error-correcting coding and decoding: Turbo-codes. (1). In 1993. ICC 93. Geneva. Technical Program, Conference Record, IEEE International Conference on Communications, volume 2, pages 1064–1070. IEEE, 1993.

5. Berrou C., Glavieux A. Near optimum error correcting coding and decoding: Turbo-codes. IEEE Transactions on Communications, 44(10):1261-1271, 1996.

6. Komarov S. V., Postnikov S. A., Levshin V. I., Dremachev D. V., Artemyev N. V. *Primeneniye turbokodov v mul'timedijny'x sistemax svyazi tret'ego pokoleniya* [Application of turbo codes in multimedia communication systems of the third generation]. *Sbornik statej. Teoriya i tekhnika radiosvyazi* [Collection of articles. Theory and technology of radio communication]. 2003. P. 112-119. (In Russian)

7. Vargauzin V., Protopopov L. *Turbokody i iterativnoe dekodirovaniye: principy, svoystva, primeneniye* [Turbocodes and iterative decoding: principles, properties, application]. www.telemultimedia.ru/art.php?id=77. 2000. (In Russian)

8. Gallagher R. J. *Kody s maloj plotnost'yu proverok na chetnost'* [Codes with a low density of parity checks]. Moscow. Mir Publ., 1996. 90 p. (In Russian)

9. Zolotarev V. V., Ovechkin G. V. *Obzor issledovaniy i razrabotok metodov pomexoustojchivogo kodirovaniya* [Review of research and development of noise-resistant coding methods]. Moscow. 2004. 126 p. (In Russian)

10. Bashkirov A. V., Ostroumov I. V., Sviridova I. V. *Osnovy pomexoustojchivogo kodirovaniya, osnovny'e preimushhestva i nedostatki algoritmov dekodirovaniya* [Fundamentals of noise-resistant coding, the main advantages and disadvantages of decoding algorithms]. Bulletin of the Voronezh State Technical University. 2012. Vol. 8. No. 2. Pp. 20-22. (In Russian)

11. Forni D. *Kaskadny'e kody* [Cascade codes]. Moscow. Mir Publ., 1970. 207 p. (In Russian)

12. Vargauzin V. A. *Vblizi granicy Shennona* [Near the Shannon border]. Telemedicine. 2005. No. 6. Pp. 3-10. (In Russian)

13. Kvashennikov V. V. *Patent RF № 266069 MPK H04L 1/20. Sposob peredachi mnogoblochny'x soobshhenij v kompleksax telekodovoj svyazi* [Patent of the Russian Federation No. 266069 IPC H04L 1/20 Method of transmitting multiblock messages in telecode communication complexes]. Prior. 02.02.2018. Publ. 08.10.2018. Byul. No. 28. (In Russian)

14. Petukhov V. N., Motin O. V., Dobrokhoto A. V. *Sovershenstvovanie setej aviacionnoj radiosvyazi Vozdushno-kosmicheskix sil na period do 2025 goda* [Improvement of aviation radio communication networks of the aerospace forces for the period up to 2025]. *Trudy XVI Rossijskoj nauchno-texnicheskoj konferencii «Novy'e informacionny'e tekhnologii v sistemax svyazi i upravleniya», (7 iyunya 2017 g.)*. [Proceedings of the XVI Russian Scientific and Technical Conference "New information technologies in communication systems and management", June 7, 2017]. Kaluga. Publishing house "Noosphere". Pp. 14-18. (In Russian)

Статья поступила 23 марта 2024 г.

Информация об авторах

Борисенко Евгений Васильевич – Заместитель главного конструктора НИИ АО «КНИИТМУ». г. Калуга. Область научных интересов: создание аппаратуры и сетей телекоммуникационной связи. Тел.: +7 (4842) 743-500. E-mail: kniitmu@kaluga.net.

Егоров Максим Владимирович – Главный конструктор направления – начальник отдела. АО «КНИИТМУ». г. Калуга. Область научных интересов: создание телекоммуникационных систем. Тел.: +7 (4842) 743-500. E-mail: kniitmu@kaluga.net.

Квашенников Владислав Валентинович – доктор технических наук, ведущий научный сотрудник. АО «КНИИТМУ». г. Калуга. Область научных интересов: помехоустойчивое кодирование и системы синхронизации. Тел.: +7 (4842) 743-500. E-mail: kvashienvv@mail.ru

Шабанов Александр Константинович – кандидат технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник. АО «КНИИТМУ». Область научных интересов: организация сетей авиационной радиосвязи. г. Калуга, Тел.: +7 (4842) 743-500. E-mail: shabanov.ak@mail.ru

Адрес: 248000, г. Калуга, ул. Карла Маркса, д. 4.

Approaches to improving telecode communication equipment for data exchange with aviation complexes

E. V. Borisenko, M. V. Egorov, V. V. Kvashennikov, A. K. Shabanov

Annotation. *Advances in the theory and practice of noise-tolerant coding and microelectronics have opened up new opportunities for the creation and production of noise-resistant secure telecode communication equipment for data exchange with aviation complexes. The purpose of the work is to analyze new tasks for the organization of noise-resistant secure communications, identified during military-technical experiments conducted in recent years. Proposals for improving telecode communication equipment for the implementation of new requirements are considered. The results of the performed analysis can be useful as a methodological tool for choosing effective technical solutions in the process of designing new-generation telecommunications systems in a complex interference environment and the effects of electronic warfare. The practical significance of the work lies in the development of recommendations on the selection of promising code structures to ensure high noise immunity, in particular on the use of three-stage cascade noise-resistant codes, when transmitting long messages and working in radio silence mode. Proposals have also been developed to improve the system of code cycle synchronization and the organization of telecode communication networks for data exchange with aviation complexes.*

Keywords: *encoding and decoding algorithms, cascade noise-resistant codes, multidimensional iterative Elias codes, telecode communication equipment.*

Information about Authors:

Borisenko Evgeny Vasilyevich – Deputy Chief Designer of the Research Institute. Research interests: creation of telecommunication equipment and networks. JSC "KNIITMU", Kaluga.

Egorov Maxim Vladimirovich – Is the Chief designer of the direction - head of the department. Research interests: creation of telecommunication systems. JSC "KNIITMU", Kaluga.

Kvashennikov Vladislav Valentinovich – Is a doctor of technical Sciences, a leading researcher. Research interests: noise-tolerant coding and synchronization systems. JSC "KNIITMU", Kaluga.

Shabanov Alexander Konstantinovich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, leading researcher. Research interests: organization of aviation radio communication networks. JSC "KNIITMU", Kaluga.

Address: 248000, Kaluga, Karl Marx Street, bild. 4. Tel: +7(4842)743-500. E-mail: kvashienvv@mail.ru.

Для цитирования: Борисенко Е. В., Егоров М. В., Квашенников В. В., Шабанов А. К. Подходы к совершенствованию телекодовой аппаратуры связи для обмена данными с авиационными комплексами // Техника средств связи. 2024. № 1 (165). С. 90-98. DOI: 10.24412/2782-2141-2024-1-90-98.

For citation: Borisenko E. V., Egorov M. V., Kvashennikov V. V., Shabanov A. K. Approaches to improving telecode communication equipment for data exchange with aviation complexes // Means of Communication Equipment. 2024. No. 1 (165). Pp. 90-98. DOI: 10.24412/2782-2141-2024-1-90-98. (in Russian).

ПЕРЕЧЕНЬ НАУЧНЫХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ,

паспорта которых соответствуют тематическому содержанию журнала

В соответствии с номенклатурой, утвержденной приказом министерства науки и высшего образования РФ от 24 февраля 2021 г. N 118 и рекомендацией президиума ВАК N 15/I-нс от 28 мая 2021 г.

Технические науки:	2.2. Электроника, фотоника, приборостроение и связь:
	2.2.13. Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения (технические науки);
	2.2.14. Антенны, СВЧ устройства и их технологии (технические науки);
	2.2.15. Системы, сети и устройства телекоммуникаций (технические науки).
	2.3. Информационные технологии и телекоммуникации:
	2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика (технические науки);
	2.3.5. Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей (технические науки);
Военные науки:	2.3.6. Методы и системы защиты информации, информационная безопасность (технические науки).
	6.2 Военно-технические науки
	6.2.1. Вооружение и военная техника. Комплексы и системы военного назначения (технические науки);
	6.2.4. Системный анализ, моделирование боевых действий и систем военного назначения, компьютерные технологии в военном деле (технические науки);
	6.2.5. Эксплуатация и восстановление вооружения, техническое обеспечение (технические науки);
	6.2.11. Военная электроника, аппаратура комплексов военного назначения (технические науки);
	6.2.13. Военные системы управления, связи и навигации (технические науки).

Индексы ГРНТИ:

20.00.00 Информатика.
 28.00.00 Кибернетика.
 45.00.00 Электротехника.
 47.00.00 Электроника. Радиотехника.
 47.05.00 Теоретическая радиотехника.
 47.41.00 Радиоэлектронные схемы.
 47.51.39 Синтез и обработка телевизионных сигналов.
 49.00.00 Связь.
 49.03.05 Теория обработки сигналов в системах связи.
 49.27.00 Система передачи.
 49.31.00 Многоканальная связь.
 49.39.00 Телефонная связь и аппаратура.
 49.43.00 Радиосвязь и радиовещание.
 50.00.00 Автоматика. Вычислительная техника.
 49.33.35 Надежность сетей связи и защита информации.
 50.37.23 Защита от несанкционированного доступа. Физическая защита информации.
 50.41.27 Компьютерные вирусы. Антивирусные программы.
 81.93.29 Информационная безопасность. Защита информации.